

Université de Montréal

Le rôle des afférences visuelles pour le contrôle d'un mouvement d'interception manuelle

par
Louis-Nicolas Veilleux

Département de kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de M. Sc.
en sciences de l'activité physique
option apprentissage et contrôle du mouvement humain

avril, 2003

© Louis-Nicolas Veilleux, 2003

GV

201

N54

2003

N.006

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Le rôle des afférences visuelles pour le contrôle d'un mouvement d'interception manuelle

présenté par :

Louis-Nicolas Veilleux

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

[Redacted name]

président-rapporteur

[Redacted name]

directeur de recherche

[Redacted name]

membre du jury



SOMMAIRE

SOMMAIRE

L'apprentissage d'une tâche d'interception ne semble pas être spécifique aux sources d'information afférente disponibles pendant la pratique, au même titre que les tâches de pointage. Proteau et Gullaud (en préparation) proposaient que cette discordance était due au fait que les participants dans une étude d'interception pouvaient évaluer visuellement la position de leur main, même lorsque celle-ci ne devait pas être visible.

Le premier objectif du présent mémoire était d'évaluer l'à-propos de l'hypothèse de la spécificité de la pratique dans une tâche d'interception vidéo. L'objectif de la seconde expérience était d'évaluer le rôle de l'information visuelle relative au déplacement de l'effecteur dans la portion périphérique de la rétine pour la précision du geste d'interception manuelle.

Dans la première expérience et la seconde expérience, le fait d'être transféré d'une condition de vision normale à une condition de vision de la cible seulement a résulté en une augmentation significative de l'erreur d'interception. Qui plus est, l'erreur alors obtenue était significativement plus grande que celle du groupe ayant pratiqué en vision de la cible seulement, supportant ainsi l'hypothèse de spécificité de la pratique.

Dans la seconde expérience, en plus des groupes mentionnés ci-haut, deux groupes devaient effectuer la tâche en condition de vision périphérique de l'effecteur comprise entre 40° et 30° ou entre 40° et 15° d'angle visuel. Les résultats indiquent que le rôle joué par la vision périphérique serait plutôt modeste au niveau de la précision du geste, mais serait utile pour diminuer la

variabilité du mouvement d'interception. Ces résultats suggèrent aussi que la variabilité d'interception serait fonction de la distance qui sépare la dernière position vue de la main de l'arc d'interception.

Mots clés : contrôle moteur, apprentissage moteur, vision périphérique, mouvement de l'effecteur

ABSTRACT

Learning of an aiming task has been shown to be specific to the sources of afferent information available during practice. However, this position was not supported for an interception task. Proteau and Gullaud (in preparation) proposed that these conflicting results were caused by the fact that participants, in an interception task, can visually evaluate the position of their hand even when it was supposedly unavailable.

The first goal of this thesis was to test the specificity of practice hypothesis in an interception task. The goal of a second experiment was to evaluate the role played by peripheral visual information relative to the effector for the accuracy of the interception movement.

In the first and the second experiments, the fact of being transferred from the normal visual condition to a target-only condition resulted in a significant increase in spatial interception error. Moreover, the error was then significantly larger than that of the target-only group, which supports the specificity of practice hypothesis.

In the second experiment, participants performed the task in both conditions previously mentioned and in conditions where peripheral vision of the effector was possible between 40° and 30° or between 40° and 15° of visual angle.

Vision of the effector in peripheral vision only resulted in a reduction in interception variability. The pattern of results obtained when peripheral visual information was available suggests that the point of interception was decided prior to movement onset. Interception variability reflects that neuromotor noise was increased as the no-vision portion of the movement grew larger.

Key words : motor control, motor learning, peripheral vision, movement of the effector

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE / ABSTRACT.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xi
REMERCIEMENTS.....	xii
DÉDICACE.....	xiii
CHAPITRE 1. RECENSION DES ÉCRITS	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	2
ÉTUDES DE BASE (tâches d'interception manuelle).....	2
À propos de la vision de la trajectoire de la balle.....	2
À propos de la vision de la main lors de l'exécution du mouvement.....	4
Différences entre les tâches d'interception et les tâches de pointage.....	6
Développements récents dans les tâches d'interception manuelle.....	9
CHAPITRE 2. TÂCHE D'INTERCEPTION MANUELLE : VOIR LA BALLE C'EST VOIR SA MAIN!	
INTRODUCTION DE LA PREMIÈRE EXPÉRIENCE.....	12
MÉTHODOLOGIE.....	14
RÉSULTATS.....	21
DISCUSSION.....	37

CHAPITRE 3 : LE RÔLE DES AFFÉRENCES VISUELLES POUR LE CONTRÔLE
D'UN MOUVEMENT D'INTERCEPTION MANUELLE

INTRODUCTION DE LA DEUXIÈME EXPÉRIENCE.....	42
MÉTHODOLOGIE.....	45
RÉSULTATS.....	47
DISCUSSION.....	70
CHAPITRE 4 : DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSIONS.....	75
RÉFÉRENCES.....	81

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 2

Figure 1. Appareillage utilisé lors des expériences 1 et 2.....	20
Figure 2. Délai d'amorce en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	30
Figure 3. Moments d'occurrence des marqueurs cinématiques d'accélération, de vitesse et de la fin du mouvement en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	31
Figure 4. Position angulaire du curseur à l'occurrence des marqueurs cinématiques d'accélération, de vitesse et de la fin du mouvement en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	32
Figure 5. Distance à parcourir par le curseur entre le pic d'accélération / vitesse et l'arc d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	33
Figure 6. Erreur constante d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	34
Figure 7. Erreur constante absolue d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	35
Figure 8. Erreur variable d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	36

CHAPITRE 3

Figure 9. Délai d'amorce en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....58

Figure 10. Moments d'occurrence des marqueurs cinématiques d'accélération, de vitesse et de la fin du mouvement en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....59

Figure 11 a, b, c, d. Position angulaire du curseur à l'occurrence des marqueurs cinématiques d'accélération, de vitesse et de la fin du mouvement en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....60-63

Figure 12. Distance à parcourir par le curseur entre le pic d'accélération / vitesse et l'arc d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....64

Figure 13. Erreur constante d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....65

Figure 14. Erreur constante absolue d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....66

Figure 15. Erreur variable d'interception en fonction des conditions expérimentales, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....67

Figure 16. Exemple de mouvement d'interception vidéo pour lequel on observe la variabilité du geste d'interception en fonction des condition visuelles de la seconde expérience, i.e., en condition de vision de la cible seulement, en condition de vision périphérique entre 40° et 30° d'angle visuel et entre 40° et 15° d'angle visuel.....68

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ANOVA : Analyse de variance

cm : Centimètre

É-T : Écart- type

et al. : Et collaborateurs

F : F calculé de Fisher

Hz : Hertz

i.e. : C'est-à-dire

M : Moyenne

mm : Millimètre

ms : Milliseconde

NVIS : Groupe expérimental en condition de non-vision de l'effecteur

p : Probabilité

s : Seconde

UV : Ultra-violet

VIS : Groupe expérimental en condition de vision normale

VP-15 : Groupe expérimental en condition de vision périphérique de l'effecteur
comprise entre 40° et 15° d'angle visuel

VP-30 : Groupe expérimental en condition de vision périphérique de l'effecteur
comprise entre 40° et 30° d'angle visuel

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier grandement mon directeur de recherche le Docteur Luc Proteau. Tu m'as fait confiance en me donnant une seconde chance, mais en m'offrant cette opportunité tu m'as donné bien plus. Tu m'as permis de remettre ma vie en place et ça, je ne pourrai jamais te remercier suffisamment. Ta compassion, ta générosité, ta disponibilité et ton amour pour ton travail sont des sources constantes d'inspiration. Merci mille fois pour tout.

J'aimerais ensuite remercier tous mes amis et ma sœur qui de proche ou de loin ont toujours été là pour me soutenir et me faire sourire. Je remercie plus particulièrement Jérémie, Étienne, Guillaume, Caro V., Pierre-Olivier, Éric P., Christine, Éric B., Philippe L.. Vous êtes tous des êtres exceptionnels, pour qui j'ai beaucoup de respect et d'amour. Merci mille fois pour tout.

Je voudrais dire un grand merci à Paul et Gérard, votre bonne humeur et votre capacité à rendre service aux autres est grandement appréciée. Longue vie à vous deux.

Finalement, merci à tous les techniciens du laboratoire, les employés(es) du Département de kinésiologie et tous les étudiants(es) qui se sont soumis à la torture expérimentale.

DÉDICACE

À mes parents. Merci pour votre temps et votre amour indéniable. Je dédie plus particulièrement ce mémoire à mon père, qui m'a toujours incité à terminer ce que je commençais (Tu peux tout quand tu veux!) et aujourd'hui ça me sert bien. Maintenant, papa, j'espère que ta volonté et ta détermination vont te garder avec nous pour longtemps. Je vous aime tous les deux très fort.

CHAPITRE 1. RECENSION DES ÉCRITS

Le traitement des informations afférentes est à la base de l'apprentissage des activités de la vie quotidienne, des activités reliées au travail ou à un sport en particulier. L'objectif général de ce mémoire est de mieux connaître le rôle des afférences visuelles pour assurer la précision lors de la réalisation d'une tâche d'interception manuelle. Pour ce faire, j'aborderai, en premier lieu, les études de base relatives au rôle de la vision lors de tâches d'interception manuelle. Je présenterai, par la suite, les principales études relatives au rôle des afférences visuelles pour la planification et le contrôle de gestes de pointage et d'interception. Les questions posées dans ce mémoire découleront de cette brève recension des écrits.

À propos de la vision de la balle

Whiting et ses collaborateurs furent parmi les premiers à s'intéresser aux tâches d'interception manuelle et au rôle joué par la vision pour assurer la précision du geste d'interception. Lors d'une série d'études, Whiting et ses collaborateurs ont évalué les effets de différents intervalles de vision / non-vision d'une balle en mouvement sur la performance de tâches d'attrapé.

Whiting, Gill et Stephenson (1970) ont tenté de vérifier s'il était nécessaire de voir toute la trajectoire d'une balle en mouvement pour optimiser la performance d'interception. La procédure était la suivante : ils laissaient tomber une balle (Perspex avec un bulbe lumineux à l'intérieur) sur un tremplin qui la redirigeait vers le participant. Lorsque la balle touchait le tremplin, elle activait un interrupteur qui allumait le bulbe à l'intérieur de la balle. La balle devenait alors visible pour une durée variant entre 100 et 400 ms (i.e., tout son envol). Les données ont révélé que plus on voit la balle longtemps plus la performance est bonne. Toutefois, ces résultats ont donné prise à une double question : une meilleure évaluation de sa trajectoire était-elle

due au fait de voir la balle plus longtemps ou au fait que la période pendant laquelle elle n'était pas visible était plus courte ? Pour répondre à cette question, Whiting et Sharp (1974) ont utilisé le même protocole que Whiting et al. (1970). Le temps de vol de la balle était cependant de 580 ms. La balle en déplacement n'était visible que pour 80 ms. Cette fenêtre de 80 ms débutait entre 320 et 0 ms avant la période de latence de 125 ms¹. Deux résultats importants ont été mis en évidence. D'une part, la performance des sujets est plutôt faible lorsque la période de vision arrive tôt après l'envol de la balle. Selon les auteurs, cette performance plus faible serait due à l'oubli de la trajectoire de la balle par les participants. D'autre part, si la période de vision est retardée, i.e. environ 125 ms avant l'interception, on est également témoin d'une performance médiocre : soit que le participant n'a pas le temps d'évaluer la trajectoire, soit qu'il produit une réponse hâtive (soit qu'il s'agisse d'une combinaison des deux). On pourrait cependant suggérer que 80 ms de vision de la balle soit insuffisant pour assurer une performance optimale d'interception surtout lorsque la balle est vue très tôt ou très tard dans sa trajectoire. Sharp et Whiting (1975) ont réalisé une autre étude pour vérifier cette possibilité.

Dans cette étude, Sharp et Whiting (1975) voulaient vérifier quel était le rapport vision / occlusion de la trajectoire de la balle qui permettrait d'obtenir une performance minimale de 85% de même que le temps total de vision de la balle nécessaire à l'optimisation de la performance. La tâche était similaire à celle de l'étude précédente. Cependant, la balle était visible pour des périodes allant de 40 ms à 480 ms alors que les périodes d'occlusion suivant la période de vision de la balle variaient entre 0 ms et 120 ms. Les participants parvenaient à attraper 85% des balles projetées

¹ La période de latence est un court laps de temps durant lequel aucun changement de condition expérimentale n'est effectué et qui prend place environ 125 ms avant l'interception (Whiting et Sharp, 1974).

vers eux lorsque la balle était visible pour une période d'au moins 240 ms et lorsque le temps d'envol de la balle se situait entre 320 et 480 ms. Néanmoins, le fait de voir aussi peu que 40 ms de la trajectoire de la balle permettait aux participants d'attraper une balle sur trois.

Les travaux de Whiting et de ses collaborateurs suggèrent qu'il n'est pas nécessaire de voir la balle pendant tout son déplacement pour pouvoir l'attraper. Cette conclusion a récemment été supportée par des travaux du groupe d'Elliott (Lyons, Fontaine, et Elliott, 1997; Olivier, Weeks, Lyons, Ricker, et Elliott, 1998). Whiting et ses collaborateurs proposent aussi que la baisse de performance notée lors des périodes d'occlusion était due à la perte des informations visuelles relatives à la balle en déplacement. Cependant, lors des périodes d'obscurité, c'est toute la salle d'expérimentation qui était plongée dans le noir. Par conséquent, nous ne pouvons établir avec certitude si c'était l'occlusion de la trajectoire de la balle qui causait la diminution de la performance d'interception et / ou s'il s'agissait plutôt de l'occlusion de la vision de la main du participant.

À propos de la vision de la main lors de l'exécution du mouvement

Smyth et Murray (1982) ont réalisé une étude intéressante à cet égard. Les participants devaient attraper une balle projetée vers eux dans des situations où ils voyaient le déplacement de leur main ou alors que seule la balle était visible. Pour ce faire, une visière opaque ou transparente était attachée à un casque porté par le participant. La visière opaque permettait aux investigateurs d'obstruer la vision de la main pour toute la durée du mouvement d'interception sans obstruer la vision de la balle, autrement qu'à la toute fin de celle-ci. Les résultats indiquaient une meilleure performance d'interception lorsque les participants pouvaient voir leur main que

lorsque celle-ci n'était pas visible à cause de l'utilisation de la visière opaque. Ceci suggère que la vision de la balle et celle de la main sont nécessaires pour obtenir une performance d'interception optimale. Cette conclusion doit cependant être considérée avec prudence. En effet, comme les 200 dernières ms de la trajectoire de la balle étaient cachées par la visière opaque, nous ne pouvons clairement déterminer si la baisse de performance notée pour cette condition est due uniquement au retrait de la vision de la main.

À ce sujet et dans une étude similaire, Fischman et Schneider (1985) ont repris en partie le protocole de Smyth et Murray (1982) tout en ajoutant un facteur d'habileté (novices / experts) ainsi que l'alternance de la main impliquée dans le mouvement. Ils ont obtenu des résultats supportant ceux de Smyth et Murray (1982) dans la mesure où le fait d'obstruer la vision de l'effecteur causait une augmentation du nombre d'erreurs d'interception. Toutefois, la nature des erreurs de la condition de non-vision de la main n'était pas la même que celle obtenue par Smyth et Murray. Dans cette dernière étude, l'augmentation de l'erreur se retrouvait uniquement pour la phase de saisie; suggérant une erreur de synchronisation temporelle entre le moment de fermeture des doigts et l'arrivée de la balle. Dans l'étude de Fischman et Schneider (1985), les résultats indiquent que les experts ont produit plus d'erreurs de saisie, alors que le retrait de la vision de la main chez les novices a causé une augmentation des erreurs de positionnement de la main. Les auteurs ont conclu que les experts ne dépendaient pas de la vision du membre mais plutôt de la proprioception pour le positionnement du bras et de la main, tandis que les novices seraient dépendants de la vision du membre effecteur pour tout le mouvement.

Les résultats contradictoires revus ci-haut ont incité Diggles, Grabiner et Garhammer (1987) à réaliser une expérience reprenant sensiblement la même méthodologie que dans les deux études précédentes. Ils ont repris le paradigme novices / experts utilisé dans l'étude de Fischman et Schneider (1985) ainsi que l'utilisation d'un écran afin de bloquer la vision du membre effecteur (i.e., la main; Fischman et Schneider, 1985; Smyth et Murray, 1982). Dans un premier temps, les résultats de cette expérience indiquent que la proprioception ne peut assurer à elle seule le positionnement optimal de la main dans l'espace, puisque les groupes de novices et d'experts ont commis des erreurs de positionnement lors du retrait de la vision de la main. Dans un second temps, il semble effectivement que les participants experts soient spatialement et temporellement plus précis que les novices, mais que le retrait de la vision de la main ait des conséquences similaires pour les deux groupes quant aux erreurs de positionnement.

L'étude de Diggles et al. (1987) était en partie exempte de la faiblesse retrouvée dans l'étude de Smyth et Murray (1982) puisque la trajectoire de la balle était cachée uniquement pour les 90 dernières millisecondes (contre 200 ms pour Smyth et Murray). Néanmoins, les résultats de cette étude sont similaires à ceux de Smyth et Murray (1982). Par conséquent, il apparaît que la vision de la main est nécessaire à l'optimisation de la performance d'attrapé.

Différences entre les tâches d'interception et les tâches de pointage

Whiting et ses collaborateurs se sont à nouveau intéressés aux tâches d'interception au début des années '90. Dans ces études (Whiting et Savelsbergh, 1992; Whiting, Savelsbergh et Pijpers, 1995), les participants devaient attraper, à l'aide d'une seule main, une balle projetée vers eux. Les participants ont pratiqué la

tâche en condition de vision normale ou alors que seule la balle projetée vers eux était visible. La condition de vision de la balle seulement étaient produite à l'aide de balles de tennis illuminées par une lampe UV, ce qui permettait d'en voir la trajectoire. Les résultats montrent que, même si on observait plus de balles attrapées pour la condition de vision normale que pour la condition de vision de la balle seulement, le transfert de la première à la seconde condition n'a pas eu d'effet dramatique sur la performance des participants qui avaient pratiqué en condition de vision normale. Whiting et ses collègues ont alors proposé que l'expertise était caractérisée par une flexibilité des processus de traitement de l'information qui permettait à l'expert d'utiliser toutes les sources d'afférence disponibles dans une situation donnée pour améliorer sa performance. Ces résultats sont surprenants parce que les résultats de nombreuses études de pointage indiquaient que la vision de la main, tant avant l'amorce du mouvement (Desmurget, Rossetti, Jordan, Meckler, et Prablanc, 1997b; Desmurget, Rossetti, Prablanc, Stelmach, et Jeannerod, 1995; Prablanc, Echallier, Komilis, & Jeannerod, 1979a; Prablanc, Echallier, Jeannerod, et Komilis, 1979b; Rossetti, Stelmach, Desmurget, Prablanc, et Jeannerod, 1994; Vindras, Desmurget, Prablanc, et Viviani, 1998) que pendant le mouvement (Abahnini et Proteau, 1999; Bard, Hay, et Fleury, 1985; Bard, Paillard, Fleury, Hay, et Larue, 1990; Bédard et Proteau, 2001; Blouin, Bard, Teasdale, et Fleury, 1993; Proteau, Boivin, Linossier, et Abahnini, 2000) était nécessaire pour obtenir une précision spatiale optimale. La preuve en est que sans la vision de la main lors d'une tâche de pointage, les participants ne sont jamais aussi précis que lorsque cette source d'afférence est présente. Qui plus est, le retrait de cette information visuelle cause une très forte augmentation de l'erreur de précision spatiale de pointage (Lhuisset et Proteau, sous-pressé; Proteau, 1995; Proteau et Carnahan,

2001; Proteau et Cournoyer, 1990; Proteau et Isabelle, 2002; Proteau, Marteniuk, Girouard, et Dugas, 1987; Proteau, Marteniuk, et Lévesque, 1992; Soucy et Proteau, 2001). Plusieurs différences méthodologiques entre les groupes d'études cités plus haut sont susceptibles de permettre l'explication des résultats contradictoires.

Tout d'abord, la grandeur de l'erreur permise était beaucoup plus grande dans l'étude de Whiting et al. (1995) que dans celles de Proteau et de ses collaborateurs. En considérant que dans l'étude de Whiting et al. (1995), la variabilité des trajectoires de balles était contenue dans un cercle de 30 cm de diamètre et que la main d'un individu peut couvrir un cercle de 15 cm de diamètre, on comprend que l'aspect « précision spatiale » de cette tâche était relativement faible. En effet, la surface de la main couvrait environ 50 % de l'espace dans lequel la balle était dirigée (Tremblay et Proteau, 2001). À cet effet, Whiting et al. (1995) ont d'ailleurs dû choisir des participants présentant de faibles performances lors d'un pré-test, puisque cette tâche était « trop facile » pour certains participants (Savelsbergh et Whiting, 1988).

De façon plus importante, pour la majorité des travaux de Proteau et de ses collaborateurs, le participant n'était pas informé de son résultat lors du test de transfert; une procédure souhaitable pour évaluer l'apprentissage (Schmidt, 1988). Au contraire, la condition de transfert utilisée par Whiting et al. (1995, voir aussi Diggles et al., 1987; Fischman et Scheider, 1985; Smyth et Murray, 1982) permettait une connaissance du résultat puisque le participant était informé du résultat de sa performance lorsqu'il attrapait la balle. De plus, étant donné la faible variabilité des trajectoires, la balle touchait probablement le participant même lorsqu'elle n'était pas attrapée, ce qui donnait de l'information au participant quant à la cause de son erreur. De plus, cette phase de transfert comptait 100 essais et les auteurs ne rapportent que la

performance moyenne des participants pour l'ensemble des essais de cette phase. Ainsi, comme les participants avaient accès à une certaine forme de connaissance du résultat lors du transfert, il est fort possible qu'ils aient pu améliorer significativement leur performance au cours de cette phase expérimentale (Tremblay et Proteau, 2001).

Développements récents dans les tâches d'interception manuelle

Tremblay et Proteau (2001) ont réalisé une étude permettant d'éliminer les problèmes reprochés aux travaux du groupe de Whiting. Les participants devaient intercepter des balles de tennis de table projetées sur une surface transparente située entre eux et la balle qui approchait. Ils avaient comme consigne de toucher la surface transparente au moment et à l'endroit où la balle touchait la face opposée de cette surface transparente. Deux conditions de feedback visuel étaient utilisées lors de l'acquisition : une en vision normale et l'autre en vision de la balle seulement. Pour cette dernière condition, seule une lampe UV éclairait la salle d'expérimentation, ce qui faisait en sorte que seule la balle était visible. Le participant n'avait aucun contact physique avec la balle, et ce, peu importe la condition de feedback visuel. Un groupe différent était assigné à chacune de ces conditions. Lors de l'acquisition, les balles étaient projetées dans un espace de 32,5 cm centré sur la ligne médiane du participant. Il y avait aussi deux phases de transfert réalisées en condition de vision de la balle seulement pour tous les participants. Lors du premier transfert, les trajectoires restaient similaires à celles utilisées lors de l'acquisition alors que dans la seconde phase de transfert les balles étaient projetées dans un espace de 94,1 cm centré sur la ligne médiane du participant.

Lors de l'acquisition, les participants en condition de vision normale étaient plus précis que les participants en vision de la balle seulement. Le retrait de la vision

de la main et de l'environnement ambiant lors du premier transfert a entraîné une diminution de la précision spatiale pour le groupe de vision normale. La précision de ceux-ci ne se distinguait plus de celle notée pour le groupe vision de la balle seulement (Tremblay et Proteau, 2001). Lors du second transfert, les auteurs ont remarqué une nette augmentation des erreurs spatiales et temporelles pour l'ensemble des participants, peu importe la condition d'acquisition.

Deux hypothèses ont été proposées pour tenir compte de ce dernier résultat. La première hypothèse est liée aux caractéristiques des trajectoires lors de l'acquisition et lors des phases de transfert. Dans les deux premières phases expérimentales, les balles étaient projetées près du plan sagittal médian des participants alors que lors du second transfert la majorité des balles a été projetée à près de 40 cm du plan sagittal médian des participants. Ceci pourrait indiquer une préférence des trajectoires situées dans le plan sagittal médian (Tremblay et Proteau, 2001). La seconde hypothèse suggère qu'il pourrait y avoir spécificité de l'apprentissage des trajectoires. Ainsi, lors de l'acquisition les participants ont été confrontés uniquement à des trajectoires centrées et ils auraient pu développer des habiletés d'interception non transférables à des trajectoires excentrées.

Proteau et Gullaud (en préparation) ont soumis ces deux hypothèses à l'épreuve expérimentale. Ils ont, pour ce faire, utilisé le même montage expérimental que Tremblay et Proteau (2001). Deux groupes ont réalisé une phase d'acquisition en situation de vision normale. Pour le premier groupe, les balles étaient projetées près du plan sagittal médian des participants alors que des trajectoires plus excentrées étaient utilisées pour le second groupe. Cette phase d'acquisition était suivie de deux phases de transfert réalisées en condition de vision de la balle seulement pour tous les

participants. Lors du premier transfert, les trajectoires utilisées étaient les mêmes que lors de l'acquisition. Lors du deuxième transfert des trajectoires excentrées étaient utilisées pour les participants ayant pratiqué la tâche en condition de trajectoires centrées et vice-versa.

L'analyse des résultats a révélé une précision spatiale nettement meilleure lors de l'acquisition, mais aussi lors du transfert, lorsque les participants faisaient face à des trajectoires centrées plutôt qu'excentrées. De plus, le niveau de précision retrouvé était fonction de la trajectoire mais pas de la condition de vision. Ce résultat suggère, à première vue, que la vision de la main n'est pas nécessaire pour l'obtention d'une précision optimale lorsque la balle à intercepter est projetée près de la ligne médiane du corps. Une hypothèse alternative a cependant été proposée par Proteau et Gullaud (en préparation). Lorsque la balle est projetée vers la ligne médiane des participants, celui-ci doit placer sa main, de fait, entre ses yeux et la balle. Il en résulte que, lorsque la main est bien alignée avec la trajectoire de la balle, cette dernière n'est plus visible. Le participant possède donc une information quant à la position de sa main. Cette information était autant disponible dans les travaux du groupe de Whiting que dans ceux de Tremblay et Proteau (2001). Au contraire, lorsque la balle est projetée loin de la ligne médiane du corps, la main du participant, même si elle est dirigée parfaitement vers un point d'interception optimal, sauf à la toute fin, ne masque plus la trajectoire de la balle. C'est donc uniquement dans cette situation que le participant n'a plus d'information de nature visuelle relative à la position de sa main dans les conditions où seule la balle est théoriquement visible. Or, c'est aussi dans cette condition que le fait de réaliser la tâche en condition de vision normale favorise la précision par rapport à celle où seule la balle est visible.

CHAPITRE 2. TÂCHE D'INTERCEPTION MANUELLE :
VOIR LA BALLE C'EST VOIR SA MAIN!

Le but de la première expérience de ce mémoire était de vérifier l'hypothèse présentée ci-haut. Pour ce faire nous avons utilisé une tâche d'interception vidéo. L'utilisation d'une tâche d'interception vidéo possède plusieurs avantages. Entre autres, elle permet d'éliminer le masquage de la cible à intercepter par la main, ou le curseur la représentant, peu importe la position du point d'interception par rapport à la ligne médiane du participant. De plus, comme le participant n'est jamais en contact avec l'objet à intercepter, il n'y a pas de connaissance du résultat disponible lors de la phase de transfert. Pour atteindre notre objectif, des participants réalisaient la tâche d'interception vidéo dans une condition de vision normale ou dans une condition où seule la cible à intercepter était visible. Dans la condition de vision normale, le participant déplace un curseur illustré sur un écran d'ordinateur de sorte que le curseur intercepte une cible qui se déplace sur le même écran d'ordinateur. Le déplacement du curseur contrôlé par le participant est assujéti au déplacement d'une souris d'ordinateur manipulée par le participant. Pour le groupe pour lequel seule la cible est visible, le participant ne voit que la position de départ du curseur et la cible à intercepter. Les participants des deux groupes sont informés de leurs erreurs spatiales d'interception, s'il en est, après chaque essai. Suite à cette phase d'acquisition, tous les participants réalisent la tâche alors que seule la cible est visible et sans connaissance du résultat. Si la vision de la main en déplacement (ou d'un curseur la représentant) aide à assurer la précision d'interception alors, lors de l'acquisition, le groupe vision normale devrait être plus précis que le groupe cible seulement. De plus, si lorsque la vision de la main en déplacement est permise elle devient la principale source d'afférence utilisée pour assurer la précision spatiale, comme c'est le cas pour les tâches de pointage, alors son retrait lors du transfert devrait résulter en une forte

augmentation de l'erreur spatiale d'interception. Cette erreur d'interception lors de la phase de transfert devrait être supérieure à celle retrouvée pour le groupe qui a pratiqué la tâche expérimentale lorsque seule la cible à intercepter était visible.

MÉTHODOLOGIE

Participants

Les 24 participants étaient étudiants du premier cycle au Département de kinésiologie de l'Université de Montréal (\bar{M} = 21,8 ans et $\bar{E}-T$ = 3,8 ans). Ils n'avaient aucune expérience relative à la tâche expérimentale et n'étaient pas informés des objectifs de l'étude. Le tout s'est déroulé avec le consentement des participants.

Tâche, appareillage et procédure

La tâche consistait à intercepter une cible en mouvement présentée sur un écran d'ordinateur à l'aide d'un curseur présenté sur le même écran. Le déplacement d'un manipulandum, contrôlé par le participant sur une table horizontale, entraînait le déplacement du curseur.

L'appareillage est illustré à la figure 1 (p. 20). Il était constitué d'un grand écran d'ordinateur, d'une table de travail, d'un manipulandum et d'une base de départ. L'écran d'ordinateur (Color Pro Diamond 37 pouces par Mitsubishi) était situé 35 cm devant le participant et posé sur un support qui l'élevait de 28 cm au-dessus de la table de travail. Cette dernière était recouverte de Plexiglas. Cette surface était lubrifiée régulièrement ce qui permettait de faire glisser le manipulandum pratiquement sans friction. Le manipulandum était formé par deux pièces de Plexiglas rigide. Ces pièces étaient jointes à l'une de leurs extrémités par un potentiomètre numérique (US Digital, model S2-2048, échantillonnage à 500 Hz, précision angulaire de 0.176°). Une

extrémité de cet ensemble était fixée par un second potentiomètre numérique à un support fixe posé sur la table de travail. L'autre extrémité de cet ensemble était munie d'une tige verticale de 3 cm de hauteur et de 1 cm de diamètre. Cette tige verticale, ci-après appelée stylet, était tenue par le participant. Le déplacement de ce stylet entraînait le déplacement du curseur illustré à l'écran. La base de départ était formée par une pièce de Plexiglas taillée en forme de « L ». Cette base de départ était située sur la surface de travail près du participant. La base de départ située sur la surface de travail et celle représentée à l'écran d'ordinateur étaient toutes deux alignées avec l'axe sagittal médian du participant. L'éloignement du stylet dans le plan sagittal entraînait le déplacement du curseur du bas vers le haut à l'écran d'ordinateur. Le déplacement du stylet vers la gauche ou la droite du participant était illustré par le déplacement du curseur vers la gauche et la droite, respectivement. Le déplacement du stylet sur la surface de travail était illustré avec un ratio de 1 : 1 à l'écran d'ordinateur.

L'expérience s'est déroulée dans un local éclairé uniquement par la lumière de l'écran d'ordinateur sur lequel se déroulait l'expérience. Au début de chaque essai, les participants devaient placer le manipulandum à la base de départ. Un délai de 500 ms prenait place entre la stabilisation du stylet sur la base de départ et l'apparition de la cible. La cible apparaissait à gauche de l'écran (voir les détails ci-après). Cette cible se déplaçait de la gauche vers la droite du participant à une distance fixe de 30 cm par rapport à la base de départ. Les participants devaient intercepter cette cible à l'aide du curseur illustré à l'écran. Ils étaient informés qu'il ne s'agissait pas d'une tâche de temps de réaction et qu'ils pouvaient amorcer leur mouvement dans les trois secondes suivant l'apparition de la cible. Les participants ne devaient pas tenter d'immobiliser le

curseur directement sur la cible. Ils devaient plutôt tenter de « frapper » cette cible à l'aide du curseur.

Les participants ont pris part à deux phases expérimentales. Tout d'abord, tous les participants ont réalisé une phase d'acquisition. Lors de cette phase, ils ont effectué 150 essais sous l'une de deux conditions expérimentales. Douze participants ont effectué la tâche en condition de vision du curseur (VIS) et les douze autres participants ont réalisé la tâche en condition de non-vision (NVIS) du curseur. Pour le groupe VIS, le curseur était visible sur la base de départ et tout au long du déplacement vers la cible alors que pour le groupe NVIS le curseur n'était visible que sur la base de départ. Le point de départ de la cible se situait à -50° de la position de départ (0° étant au centre de l'écran). La cible se déplaçait à une vitesse constante de $60^\circ/\text{s}$ pour tous les essais. Une connaissance du résultat comprenant le temps de mouvement, l'erreur angulaire en degré (le signe négatif étant utilisé lorsque le curseur passait à gauche de la cible, le positif à droite) et la représentation graphique de la position du curseur au point de croisement de la trajectoire de la cible était présentée à l'écran après chaque essai.

Suite à la phase d'acquisition, tous les participants ont pris part à une phase de transfert. Dans cette phase, tous les participants devaient effectuer la tâche en condition de vision du curseur seulement. La vitesse et la trajectoire de la cible restaient les mêmes que lors de la phase d'acquisition. Il y avait 20 essais réalisés sans connaissance du résultat.

Traitement des données et définition des variables dépendantes

Les données de déplacement du curseur dans le temps ont été lissées en utilisant un filtre Butterworth récursif avec une fréquence de coupure de 10 Hz. Les

données de déplacement du curseur ont été différenciées une première fois afin d'obtenir le profil de vitesse du curseur, puis une seconde fois afin d'obtenir le profil d'accélération du curseur. Comme dans de précédents travaux (Bédard et Proteau, 2001; Lhuisset et Proteau, 2002; voir aussi Messier et Kalaska, 1999), l'amorce du mouvement d'interception correspondait au moment auquel la vitesse de déplacement du curseur atteignait 10 mm/s. L'inspection des profils cinématiques de chaque essai a confirmé, qu'une fois ce critère atteint, le mouvement du participant avait clairement débuté (i.e., une vitesse de 10 mm/s ne pouvait pas être associée à une oscillation du stylet sur la base de départ). La fin du mouvement correspondait au moment auquel le curseur atteignait une distance résultante de 30 cm, soit la distance qui séparait la base de départ de la trajectoire suivie par la cible.

Les données recueillies pendant l'acquisition et le transfert ont été regroupées en blocs de 10 essais. Les essais ayant une différence de deux écart-types (pour le délai d'amorce, le temps de mouvement et l'erreur angulaire) avec la moyenne des essais de tous les blocs n'étaient pas retenus lors du calcul des différentes variables dépendantes. Les données d'un participant ont été rejetées puisqu'il avait trop d'essais éliminés lors du premier bloc de l'acquisition. Toutefois, comme le reste des essais de ce participant était majoritairement inclus dans le critère de deux écart-types, les données de ce participant ont été retenues pour l'analyse statistique des données de la phase de transfert. Pour évaluer l'aspect temporel de la tâche, nous avons déterminé le temps d'amorce du mouvement d'interception, soit le délai prenant place entre l'amorce du déplacement de la cible et l'amorce du mouvement d'interception. Nous avons aussi calculé le moment d'occurrence de différents marqueurs cinématiques à savoir : son pic d'accélération, son pic de vitesse et son croisement de l'arc d'interception (temps

de mouvement). De plus, nous avons calculé la position de la cible et du curseur à la fin du mouvement, de même que la position du curseur lors de l'atteinte de sa pointe d'accélération ainsi que de sa pointe de vitesse. L'endroit auquel la pointe d'accélération est atteinte indique la direction programmée du mouvement par le participant (Krakauer, Pine, Ghilardi et Ghez, 2000). Une différence angulaire entre la position atteinte lors de la pointe d'accélération et celle atteinte à la fin du mouvement indique une modulation de l'impulsion initiale du mouvement. De plus, pour les mêmes marqueurs cinématiques, nous avons calculé la distance séparant le curseur de l'arc d'interception lors de l'atteinte des pics d'accélération et de vitesse. Ces variables permettent d'évaluer l'efficacité des processus de planification et de détection / correction d'erreur lors de la production du mouvement. Pour ce qui est de l'aspect spatial, nous avons calculé l'erreur constante, l'erreur constante absolue et l'erreur variable d'interception. L'erreur constante représente la moyenne des erreurs angulaires d'un participant. Elle était positive si le curseur se situait à droite de la cible lors du croisement de l'arc d'interception et négative s'il était à gauche. L'erreur constante absolue correspond à la valeur absolue de l'erreur constante et permet d'évaluer la précision des participants sans toutefois révéler un éventuel biais. L'erreur variable correspond à la variabilité intra-participant mesurée pour les 10 essais de chaque bloc.

Analyses statistiques

Les détails des différentes analyses statistiques sont présentés au début de chaque sous-section de la présentation des résultats. Cependant, dans tous les cas, la correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée lorsque la valeur de l'épsilon était plus petite que un (Greenhouse et Geisser, 1959; voir aussi Winer, 1971). Les effets

rapportés sont seulement ceux qui étaient significatifs suivant la correction Greenhouse-Geisser et les degrés de liberté originaux sont alors présentés. Lorsque nécessaire, les effets principaux et d'interaction sont décomposés en utilisant la technique de Newman-Keuls. Tous les effets sont rapportés à $p < .05$.

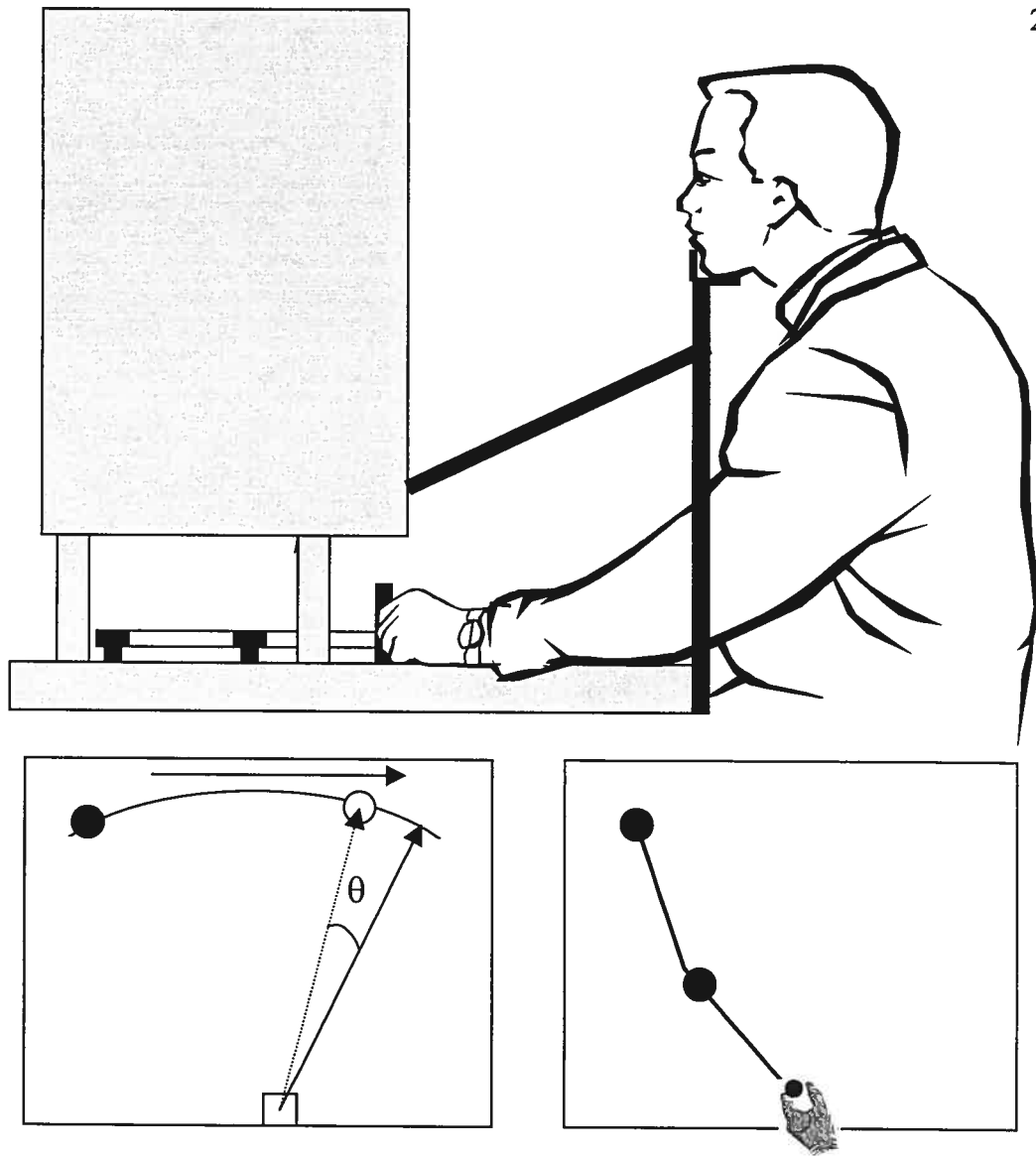


Figure 1. Vue de l'appareillage utilisé dans les deux expériences du présent mémoire. Il est à noter sur la figure du haut que le participant ne peut voir sa main se déplacer, et ce, peu importe la condition visuelle. De plus, les participants ont utilisé la main droite et non la gauche. Au bas, la figure de gauche représente la position de la base de départ représentée à l'écran d'ordinateur, la direction du déplacement de la cible et la représentation de l'erreur angulaire du participant. La figure de droite représente une vue d'au-dessus du manipulandum.

RÉSULTATS

Acquisition

Les données du délai d'amorce recueillies lors de la phase d'acquisition ont été soumises individuellement à une ANOVA à deux voies contrastant deux groupes (VIS et NVIS) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...), utilisant des mesures répétées sur le dernier facteur.

L'ANOVA calculée sur le délai d'amorce indique un effet principal du bloc, $F(14, 294) = 2.37$ et une interaction significative entre les groupes expérimentaux et les blocs, $F(14, 294) = 6.11$. La décomposition de cet effet d'interaction indique tout d'abord que les participants du groupe NVIS ont augmenté significativement leurs délais d'amorce entre le premier (527 ms) et le sixième bloc d'essais (647 ms), ce délai demeurerait stable par la suite. Au contraire, pour le groupe VIS, le temps d'amorce est plutôt stable pour les six premiers blocs ($M = 464$ ms) puis diminue progressivement d'une soixantaine de millisecondes par la suite. Ceci résulte en des temps d'amorce significativement plus longs pour le groupe NVIS que pour le groupe VIS, et ce, à partir du quatrième bloc d'essais (Figure 2, à la page 30).

L'analyse statistique du moment d'occurrence des marqueurs cinématiques et de la position angulaire du curseur pour ces mêmes marqueurs a été effectuée avec une ANOVA à trois voies contrastant les facteurs suivants : deux groupes (VIS et NVIS), trois positions du curseur (au pic d'accélération, au pic de vitesse et à l'interception) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec des mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

Les résultats de l'analyse statistique du moment d'occurrence des marqueurs cinématiques sont présentés à la figure 3 (p. 31). Tel qu'illustré sur cette dernière, on

observe un effet principal de marqueur, $F(2, 42) = 168.9$, ainsi que trois interactions significatives: groupe x marqueur, $F(2, 42) = 4.64$, marqueur x bloc, $F(28, 588) = 1.73$ et groupe x marqueur x bloc, $F(28, 588) = 1.88$. La décomposition de l'interaction à trois voies (voir la figure 3 à la page 31) indique que le moment d'occurrence des pics d'accélération et de vitesse ne se démarque pas d'un groupe à l'autre ou d'un bloc à l'autre. Cependant, le moment auquel le curseur croise la trajectoire de la cible est significativement plus tardif pour le groupe VIS que pour le groupe NVIS. De plus, alors que ce moment est retardé pour le groupe VIS en fonction de la pratique (de 783 ms à 877 ms pour les trois premiers blocs et les trois derniers blocs respectivement), tel n'est pas le cas pour le groupe NVIS (713 ms et 725 ms, respectivement).

Pour la position angulaire du curseur à l'occurrence de différents marqueurs cinématiques, aucun effet ou interaction significatif n'a été retrouvé. Les résultats moyens sont illustrés à la figure 4 (p. 32).

Nous avons aussi calculé la distance qui restait à parcourir entre l'occurrence des pics de vitesse et d'accélération et l'arc virtuel d'interception. Cette variable dépendante a été soumise à une ANOVA à trois voies contrastant les facteurs suivants : deux groupes (VIS et NVIS), deux positions du curseur (au pic d'accélération et au pic de vélocité) et quinze blocs (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. L'ANOVA a révélé des effets principaux de groupe, $F(1, 21) = 1.73$, et de marqueur, $F(1, 21) = 1474$, ainsi que des interactions significatives entre le groupe et le marqueur, $F(1, 21) = 6.17$, et le groupe et le bloc, $F(14, 294) = 1.90$. La décomposition de l'interaction groupe x marqueur révèle une distance plus grande à parcourir pour le groupe vision ($M = 270$ mm) que le

groupe non-vision ($\underline{M} = 257$ mm) dès le marqueur d'accélération. Tel qu'observable sur la figure 5 (p. 33), cette différence entre les deux groupes s'accroît pour le marqueur de vitesse passant d'une différence moyenne de 13 mm au pic d'accélération à une différence de 19 mm au pic de vitesse. Quant à l'interaction groupe x bloc, la décomposition indique que la différence entre les deux groupes, pour la moyenne des deux marqueurs, s'accroît au fil des blocs pour devenir significative au 8^e bloc d'acquisition. Cette différence tend à s'accroître jusqu'à la fin, puisque le groupe VIS passe de 215 mm au 8^e bloc à 223 mm au 15^e bloc et le groupe NVIS reste constant aux environs de 186 mm.

Pour ce qui est des données de l'erreur spatiale d'interception, les données de l'erreur constante, de l'erreur constante absolue et de l'erreur variable d'interception de la phase d'acquisition ont été soumises indépendamment à une ANOVA à deux voies contrastant deux groupes (VIS, NVIS) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...), avec mesures répétées sur le dernier facteur.

L'analyse statistique des données de l'erreur constante indique que les participants du groupe VIS sont plus précis que ceux du groupe NVIS, $F(1, 21) = 12.20$. Comme l'illustre la figure 6 (p. 34), pratiquer en condition de vision du curseur a résulté en un très petit biais directionnel ($\underline{M} = -0.19^\circ$), et ce, dès le début de la pratique. Les participants du groupe NVIS ont, quant à eux, surestimé légèrement la position de la cible lors de l'acquisition ($\underline{M} = 3.96^\circ$).

L'ANOVA calculée sur les données de l'erreur constante absolue (voir figure 7 à la page 35) indique que les petites erreurs constantes observées à la figure 6 pour le groupe VIS ne sont pas causées par un effet d'annulation (i.e., les participants ayant un biais négatif annulant ceux qui ont un biais positif). En effet, à l'image de l'erreur

constante, les participants du groupe VIS ont des erreurs significativement plus petites que ceux du groupe NVIS, $F(1, 21) = 20.88$ (voir figure 7, p. 35). On observe aussi un effet principal de bloc, $F(14, 294) = 2.42$, qui indique une diminution de l'erreur constante absolue en fonction de la pratique.

Les données de l'erreur variable sont illustrées à la figure 8 (p. 36). Le groupe VIS (2.04°) est significativement moins variable que le groupe NVIS (5.86°). Ce constat est supporté par un effet principal de groupe, $F(1, 21) = 53.76$.

Résumé. Les données de la phase d'acquisition indiquent que les participants du groupe VIS sont plus précis et moins variables que ceux du groupe NVIS. Ceci suggère que la vision du curseur déplacé par les participants permettait à ces derniers de mieux juger de l'à propos de leur mouvement. Cette plus grande précision pour le groupe VIS que pour le groupe NVIS résulte d'une différence d'approche de la tâche. En effet, le groupe VIS atteint le pic de vélocité de son mouvement plus loin de l'arc d'interception que le groupe NVIS et passe aussi plus de temps entre le pic de vélocité et le croisement de l'arc d'interception. Ceci indique que le groupe VIS passe plus de temps dans la phase de décélération de son mouvement, peut-être parce que la distance à parcourir reste plus grande que pour le groupe NVIS. Peut-être est-ce aussi parce qu'il produit son mouvement en utilisant un contrôle en temps réel ? Si tel était le cas, le retrait des afférences visuelles et de la connaissance du résultat dans la phase de transfert devrait se révéler être plus dommageable pour le groupe VIS que pour le groupe NVIS qui, lui, ne doit faire face qu'au retrait de la connaissance du résultat.

Acquisition versus transfert

Afin de déterminer les effets du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert, les données des différentes variables dépendantes pour les deux derniers

blocs d'acquisition ont été comparées à celles obtenues lors des deux blocs de transfert, ce qui a permis de déterminer les effets du retrait de la seule connaissance du résultat (groupe NVIS) et de l'information visuelle dynamique (groupe VIS) sur la performance d'interception.

Tout d'abord, les données du délai d'amorce ont été soumises à une ANOVA contrastant deux groupes (VIS et NVIS), deux phases expérimentales (acquisition et transfert) et deux blocs d'essais (131-140, 141-150 en acquisition et 1-10, 11-20 en transfert) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. L'analyse statistique du délai d'amorce révèle un effet principal de phase, $F(1, 22) = 4.75$, ainsi qu'une interaction groupe x phase, $F(1, 22) = 5.03$. La décomposition de cette interaction indique que le délai d'amorce n'est pas modifié pour le groupe NVIS lors du passage de l'acquisition à la phase de transfert. Au contraire, pour le groupe VIS, on note que le passage de la phase d'acquisition au transfert entraîne une augmentation significative du délai d'amorce (de 413 ms à 534 ms) qui, néanmoins, demeure inférieur à celui observé pour le groupe NVIS (622 ms, voir figure 2, p. 30).

En ce qui a trait au moment d'occurrence des pics d'accélération et de vitesse et de la fin du mouvement, ainsi que la position du curseur lors de l'occurrence de ces différents marqueurs cinématiques, les données ont été soumises de façon indépendante à une analyse de variance à quatre voies contrastant: deux groupes (VIS et NVIS), trois positions du curseur (accélération, vitesse et interception), deux phases (acquisition et transfert) et deux blocs d'essais (131-140, 141-150 en acquisition et 1-10, 11-20 en transfert) avec des mesures répétées sur les trois derniers facteurs.

Tout d'abord, pour le moment d'occurrence des pics d'accélération et de vitesse et de la fin du mouvement, l'ANOVA calculée révèle un effet principal du marqueur, $F(2, 44) = 152.7$. De plus, on remarque des interactions significatives : groupe x bloc, $F(1, 22) = 5.05$, et groupe x marqueur x phase, $F(2, 44) = 7.38$. La décomposition de la dernière interaction, illustrée à la figure 3 (p. 31), indique que le groupe vision accuse les effets du retrait de la vision du curseur uniquement pour le temps de mouvement, qui a diminué significativement lors du passage de la phase d'acquisition ($M = 877$ ms) à la phase de transfert ($M = 805$ ms). Quant au groupe NVIS, le fait de passer d'une phase à l'autre a causé une augmentation du temps de mouvement, passant de 721 ms en acquisition à 771 ms en transfert.

Ensuite, concernant la position angulaire du curseur lors de l'occurrence des différents marqueurs cinématiques, l'ANOVA a révélé un effet principal de phase, $F(1, 22) = 10.36$, de même que deux interactions significatives : position x phase, $F(2, 44) = 11.22$ et groupe x marqueur x bloc, $F(2, 44) = 3.40$. La décomposition de l'interaction position x phase (voir figure 4 à la page 32) indique que, pour les deux groupes, le passage d'une phase à l'autre a entraîné les participants à intercepter plus à droite lors du transfert. Plus spécifiquement, lors de la phase d'acquisition, on observe que la position du curseur au pic d'accélération ($M = 17.7^\circ$) est située significativement plus à droite que celle du pic de vitesse ($M = 14.2^\circ$) et du point d'interception ($M = 15.2^\circ$). Au contraire, lors de la phase de transfert, les positions du curseur pour les pics d'accélération ($M = 20.3^\circ$) et de vitesse ($M = 20.3^\circ$) sont situées significativement plus à gauche que celle du point d'interception ($M = 25.2^\circ$). Pour l'interaction à trois voies, elle montre que les participants des deux groupes orientent

leurs mouvements dans une direction similaire lors du pic d'accélération, en acquisition et en transfert.

Concernant la distance restante entre le curseur et l'arc d'interception lors des pics d'accélération et de vitesse, cette variable a été soumise à une analyse de variance à quatre voies contrastant: deux groupes (VIS et NVIS), deux positions du curseur (accélération, vitesse), deux phases (acquisition et transfert) et deux blocs d'essais (131-140, 141-150 en acquisition et 1-10, 11-20 en transfert) avec des mesures répétées sur les trois derniers facteurs. L'ANOVA révèle des effets principaux de groupe, $F(1, 22) = 11.89$, et de marqueur, $F(1, 22) = 997.4$, de même qu'une interaction significative, groupe x phase, $F(1, 22) = 4.89$. De plus, une interaction groupe x marqueur x phase a presque atteint le seuil de signification, $F(1, 22) = 3.84$, $p = .063$. La décomposition de cette dernière interaction indique que, pour les deux groupes, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert n'a pas causé de changement significatif pour le marqueur d'accélération. Par contre, pour le groupe NVIS, le passage à la phase de transfert a causé une augmentation de la distance que le curseur doit parcourir entre le pic de vitesse et l'arc d'interception passant de 126 mm en acquisition à 143 mm lors du transfert. Au contraire, pour le groupe VIS, le retrait de la vision du curseur a fait en sorte que la distance à parcourir par le curseur, entre le pic de vitesse et l'arc d'interception a diminué entre l'acquisition (168 mm) et le transfert (155 mm; voir figure 5, p. 33).

Les données de l'erreur constante, de l'erreur constante absolue et de l'erreur variable d'interception ont été soumises de façon individuelle à une ANOVA contrastant deux groupes (VIS et NVIS), deux phases expérimentales (acquisition et

transfert) et deux blocs d'essais (131-140, 141-150 en acquisition et 1-10, 11-20 en transfert) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

Pour l'erreur constante d'interception, on note un effet principal de phase, $F(1, 22) = 10.44$, ainsi qu'une interaction groupe x phase, $F(1, 22) = 4.84$. Tel qu'illustré à la figure 6 (p. 34), le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert n'a pas modifié de façon significative l'erreur constante du groupe NVIS passant de 2.75° pour la phase d'acquisition à 5.00° pour la phase de transfert, $p = 0.47$. Il en va autrement pour l'erreur constante du groupe VIS car elle augmente significativement de l'acquisition au transfert (de -0.17° à 11.69°) pour alors être significativement plus grande que celle du groupe NVIS.

L'étude de l'erreur constante absolue révèle un effet principal de phase, $F(1, 22) = 24.25$. De plus, un effet significatif d'interaction entre la phase et le bloc a été obtenu, $F(1, 22) = 11.05$. La décomposition de l'effet d'interaction phase x bloc, tel qu'illustré à la figure 7 de la page 35, indique une augmentation significative de l'erreur constante absolue lors du passage du quinzième bloc d'acquisition au premier bloc de transfert (de 2.08° à 9.74°), suivie d'une autre augmentation significative lors du passage au second bloc de transfert (de 9.74° à 12.39°).

Quant à l'erreur variable, l'ANOVA révèle des effets principaux de groupe, $F(1, 22) = 4.68$, et de phase, $F(1, 22) = 25.88$ ainsi que deux effets d'interaction significatifs : groupe x phase, $F(1, 22) = 8.91$, et groupe x phase x bloc, $F(1, 22) = 10.94$. La décomposition de l'interaction à trois voies (voir la figure 8 à la page 36) révèle que pour le groupe NVIS le passage de l'acquisition au transfert a entraîné une augmentation de l'erreur variable pour le premier bloc (de 6.50° à 7.96°). Toutefois, cette augmentation de l'erreur variable se résorbe dès le deuxième bloc de transfert

(6.75°). Au contraire, pour le groupe VIS, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a entraîné une très forte augmentation de l'erreur variable, passant de 2.19° à la fin de l'acquisition à 7.03° au premier bloc de transfert.

Résumé. Le seul retrait de la connaissance du résultat lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a engendré une augmentation de l'erreur constante absolue pour le groupe NVIS. Cette augmentation de l'erreur suggère que les participants de ce groupe pourraient se servir de leur évaluation de leur performance à l'essai n pour mieux planifier / contrôler leur mouvement d'interception à l'essai $n+1$. Le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a eu des effets beaucoup plus marqués pour le groupe VIS, ce qui suggère que les informations visuelles dynamiques relatives au déplacement du curseur étaient traitées par les participants pour diriger le curseur vers la cible visée.

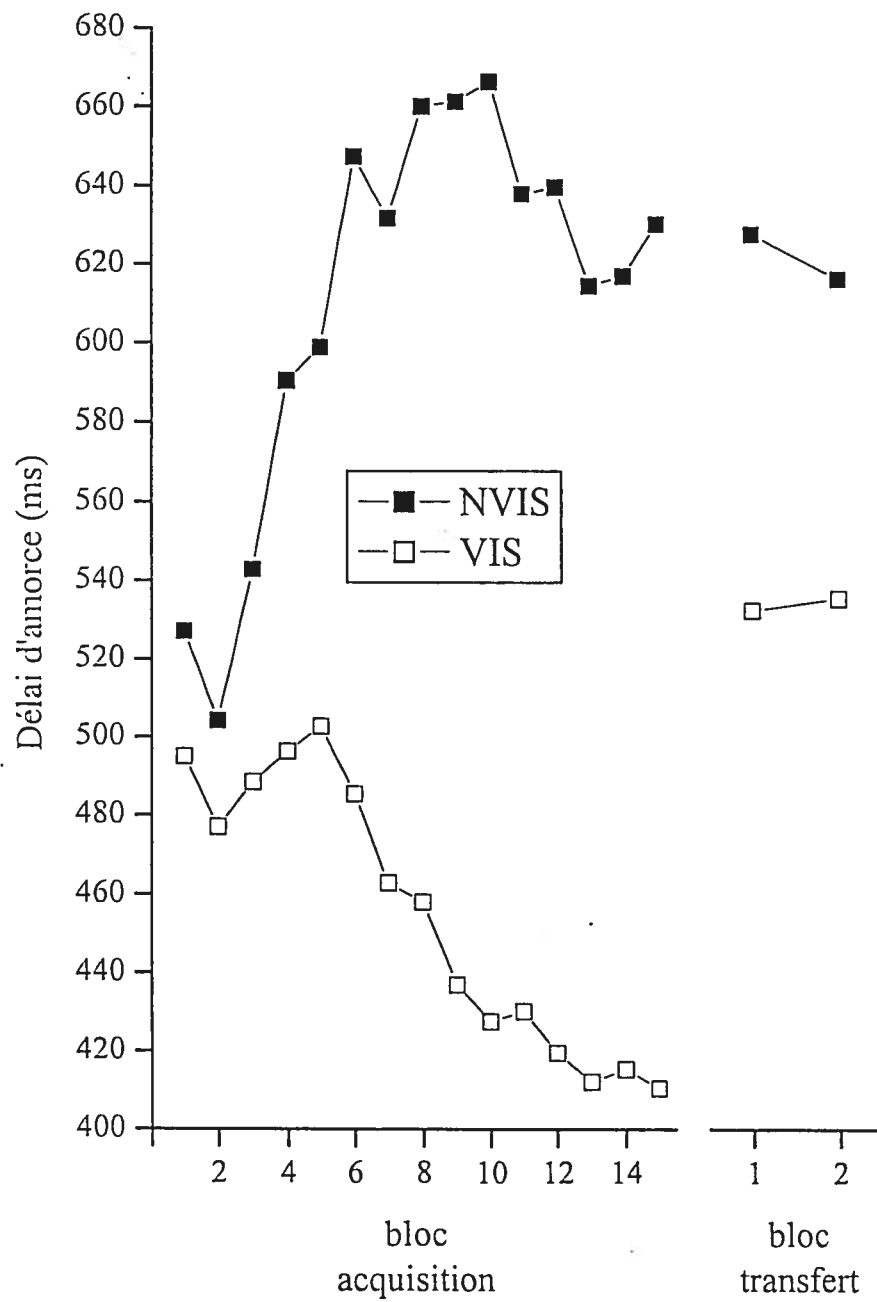


Figure 2

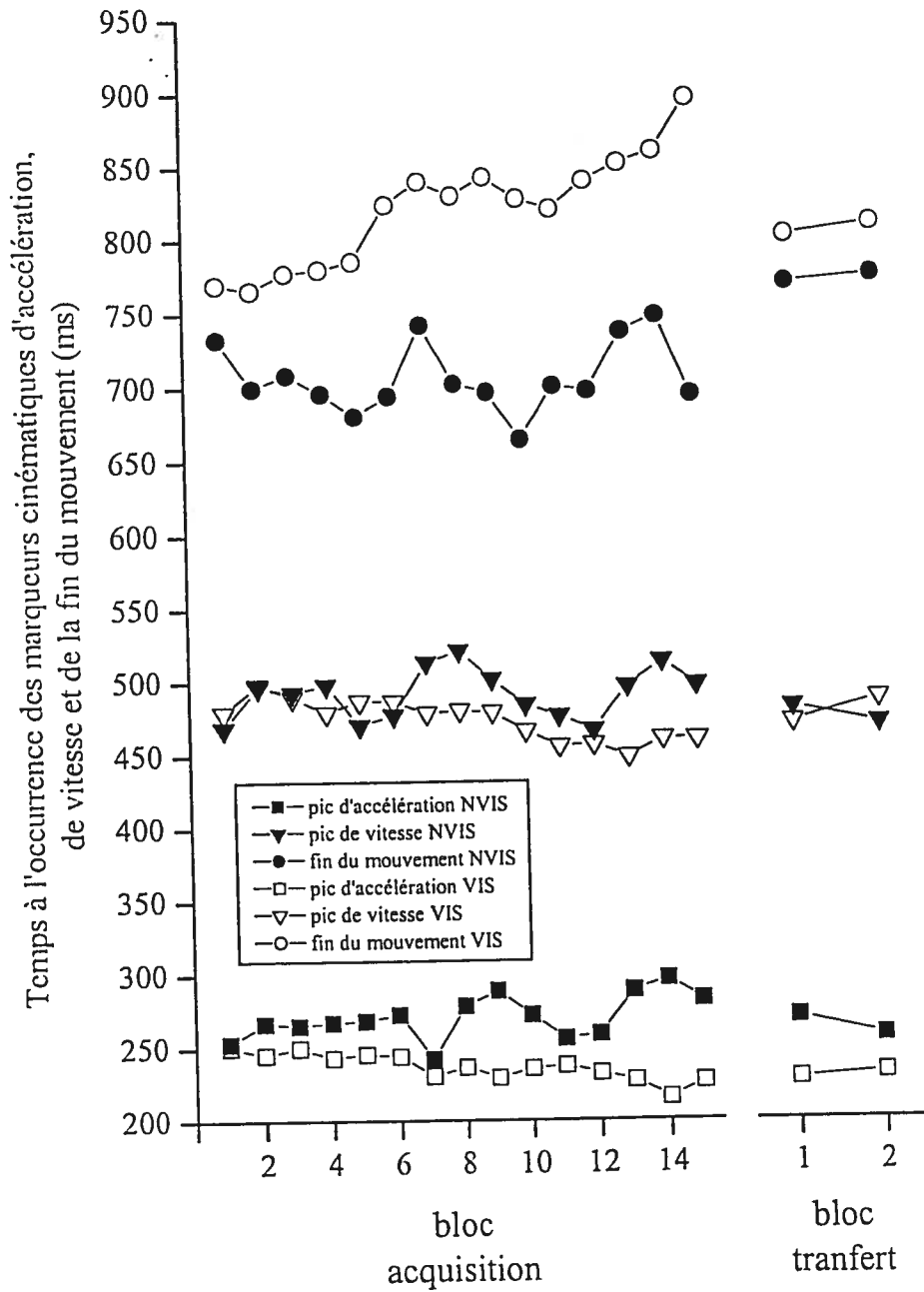


Figure 3

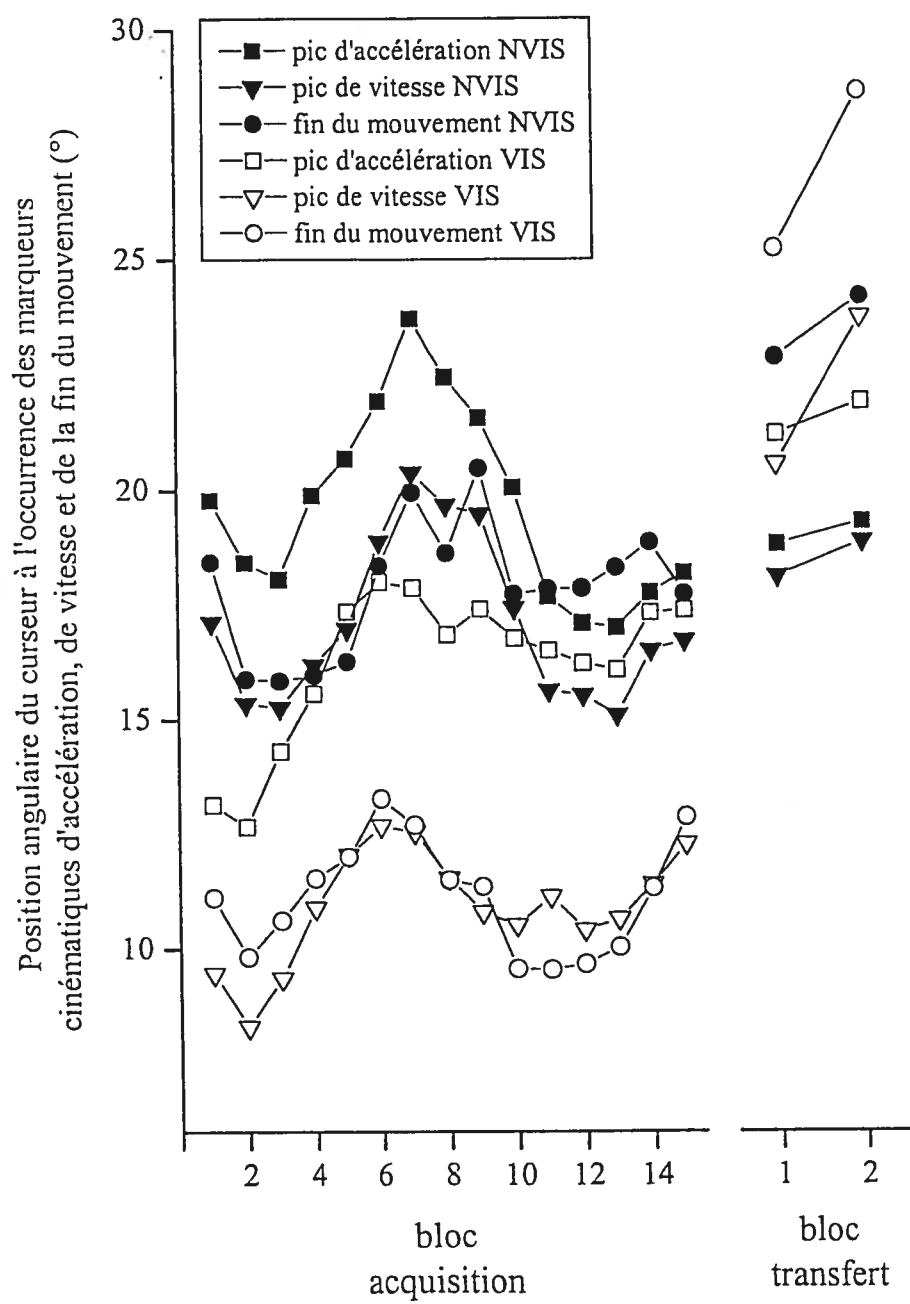


Figure 4

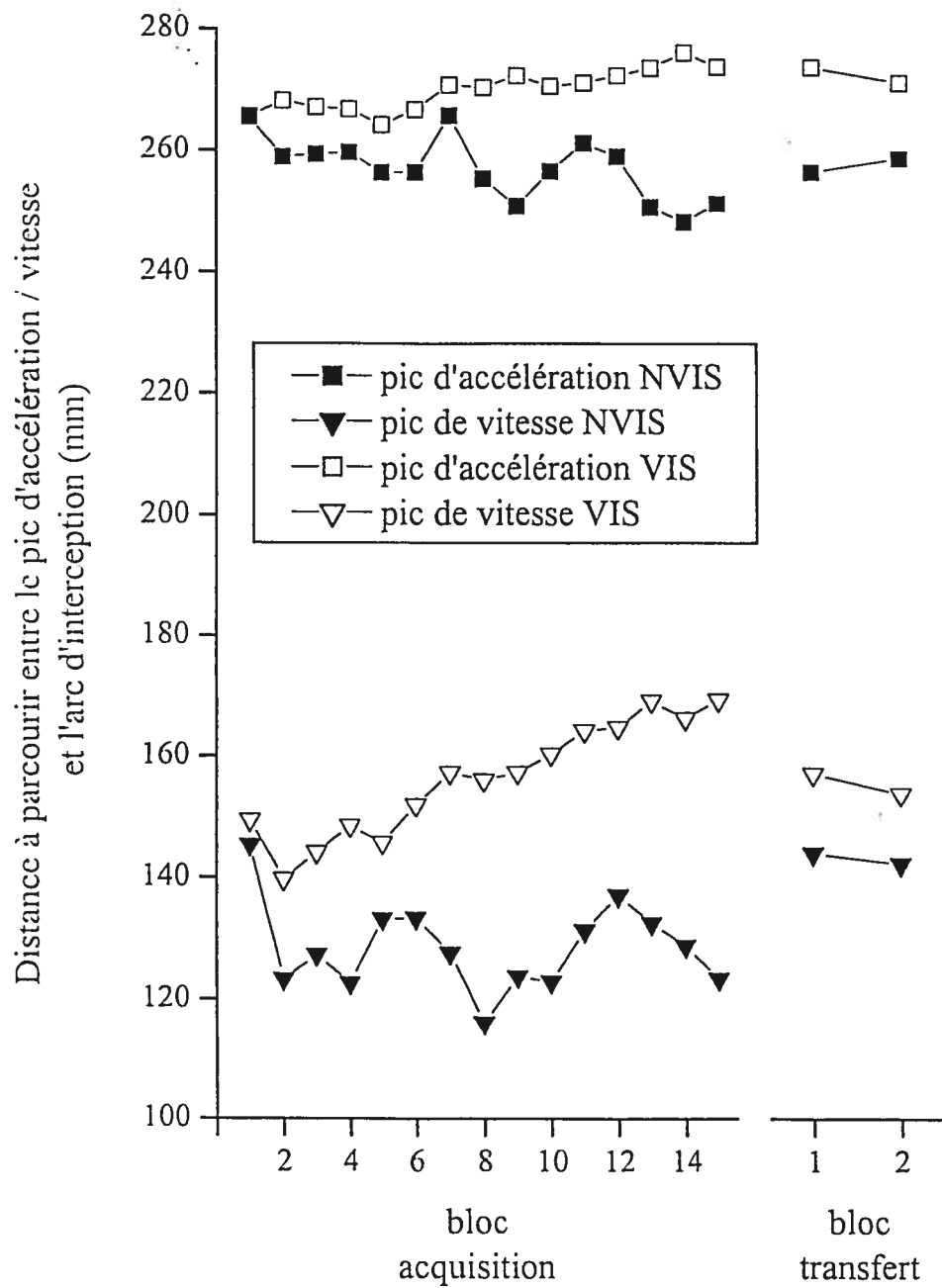


Figure 5

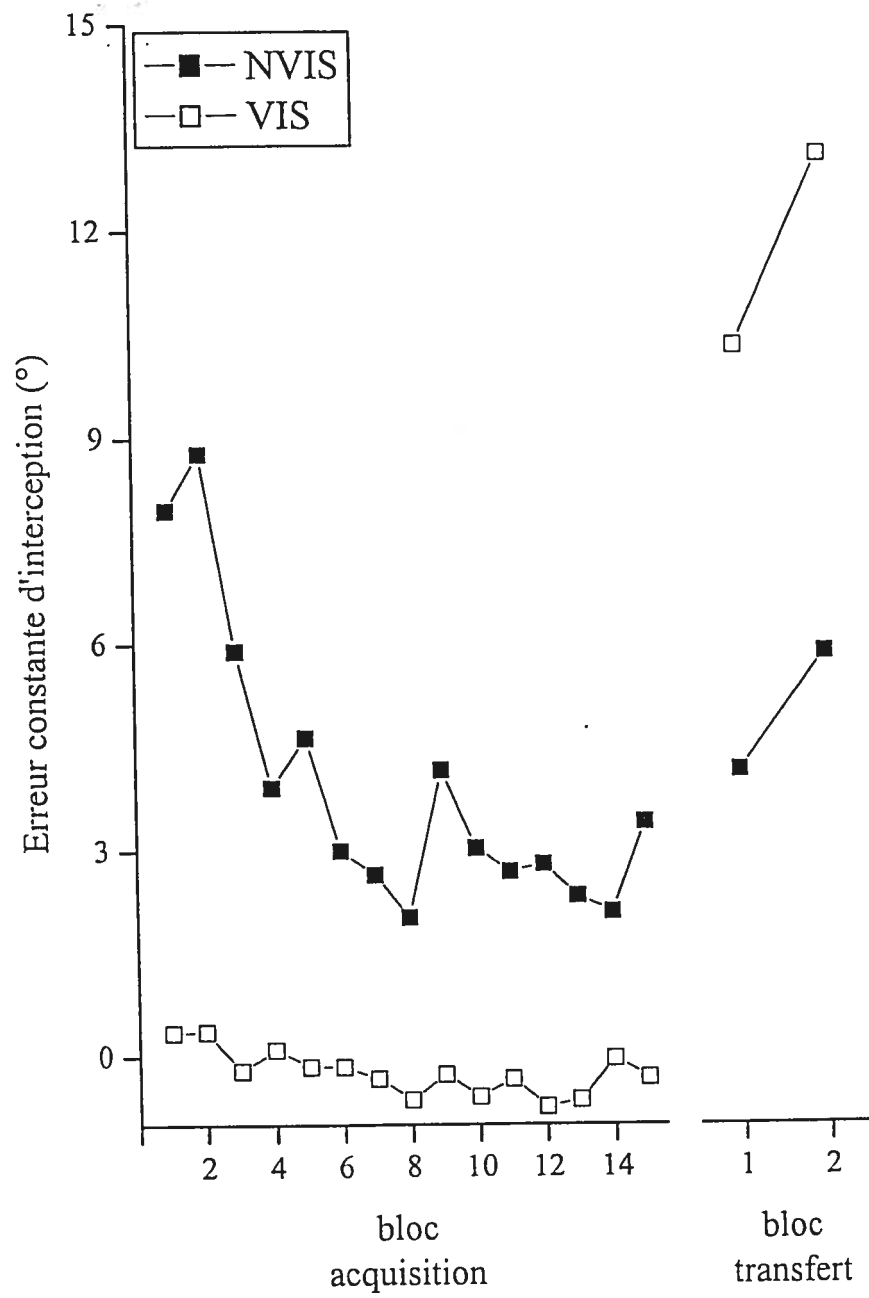


Figure 6

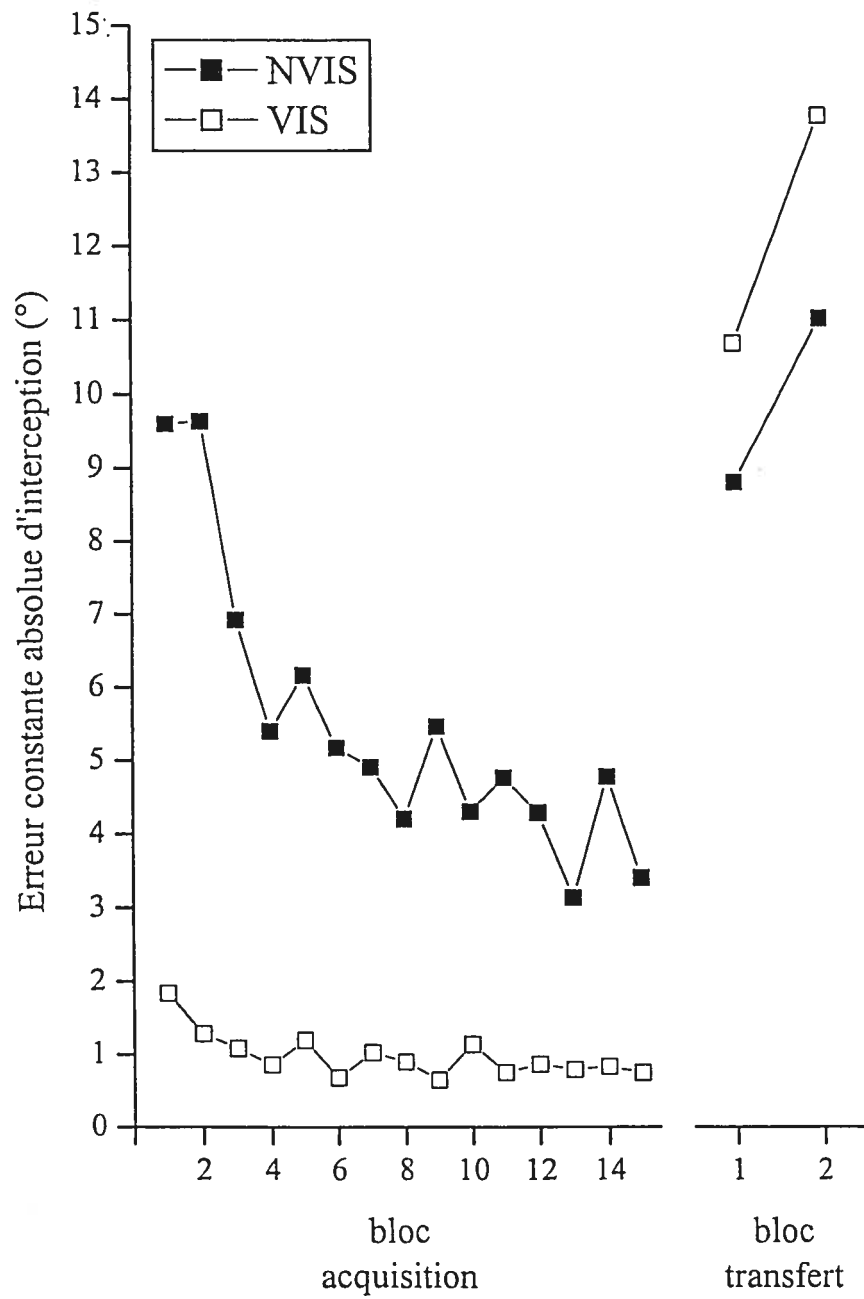


Figure 7

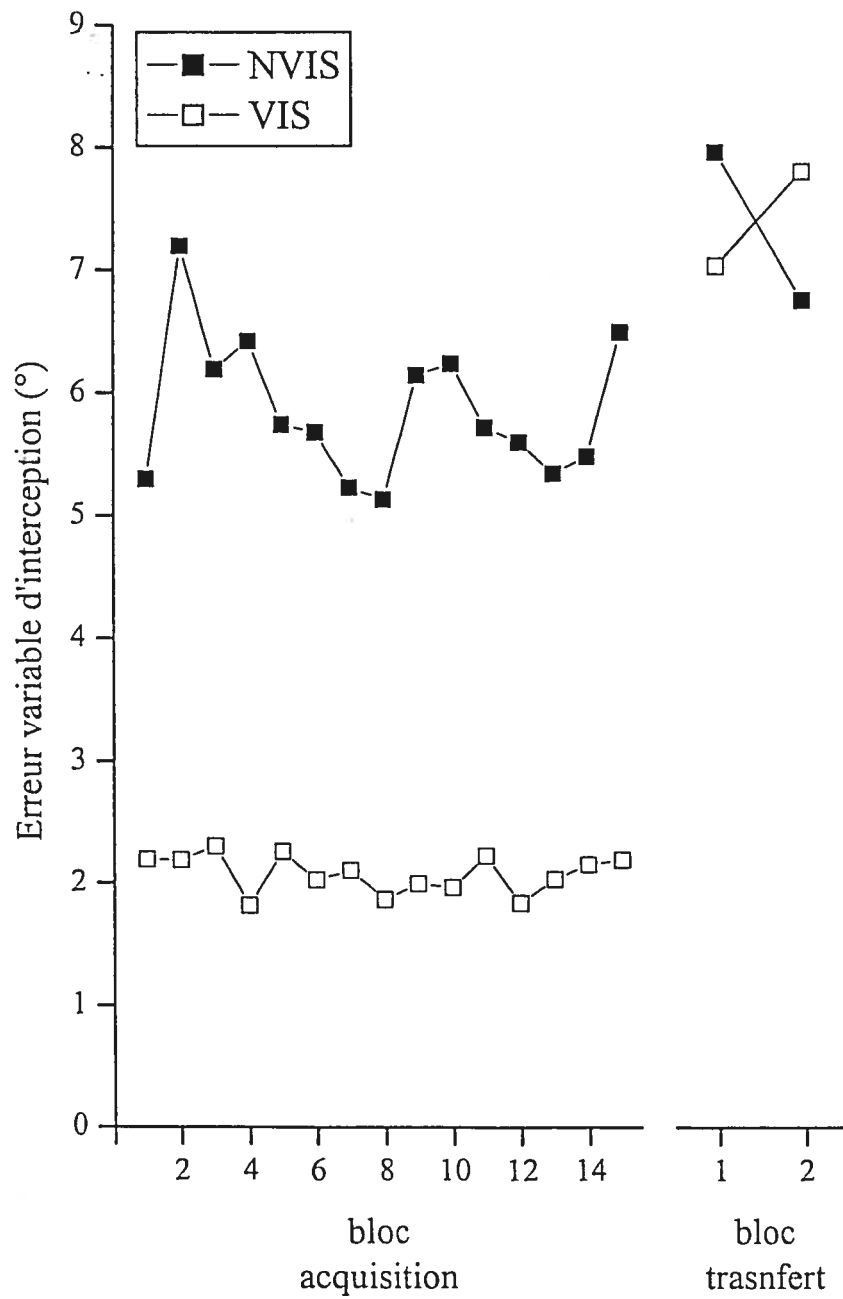


Figure 8

DISCUSSION

L'objectif de cette expérience était de déterminer si les informations visuelles dynamiques concernant le déplacement d'un curseur pour l'interception d'une cible en mouvement étaient utiles pour assurer la précision spatiale d'interception. De plus, il s'agissait de déterminer si la pratique permettrait aux participants de s'affranchir de cette source d'afférence comme le suggéraient les résultats obtenus par le groupe de Whiting (Whiting et Savelsbergh, 1992; Whiting, Savelsbergh et Pijpers, 1995) ou, au contraire, en rendraient les participants dépendants, tel que noté dans de nombreuses études de pointage manuel (Lhuisset et Proteau, sous-presse; Proteau, 1995; Proteau et al., 1987; Proteau et Carnahan, 2001; Proteau et Cournoyer, 1990; Proteau et Isabelle, 2002; Proteau, Marteniuk et Lévesque, 1992; Soucy et Proteau, 2001). Une tâche d'interception vidéo a été choisie parce qu'elle permettait de totalement retirer les afférences visuelles dynamiques relatives à l'effecteur lors des conditions de non vision, sans que des effets de masquage de l'objet à intercepter par l'effecteur viennent indiquer la position de cet effecteur, comme cela a pu être le cas lors de l'utilisation de tâches d'interception de balles dirigées vers le participant (Proteau et Gullaud, en préparation).

Les résultats de cette expérience sont clairs. Premièrement, lors de la phase d'acquisition, les participants du groupe VIS étaient plus précis et moins variables que les participants du groupe NVIS, ce qui suggère que les informations visuelles présentes dans la première condition aident à la planification ou au contrôle d'un geste d'interception manuelle. Cette meilleure performance d'interception par le groupe VIS était accompagnée d'une stratégie d'interception différente de celle du groupe NVIS.

Lors de l'acquisition, nous avons noté que les mouvements d'interception des participants du groupe VIS atteignaient leur pointe de vitesse plus loin de l'arc d'interception que pour les participants du groupe NVIS. Nous avons calculé que cette pointe de vitesse était atteinte alors que le curseur déplacé par les participants se trouvait à 26° d'angle visuel par rapport à la position de la cible. Le curseur (quoique non visible) se situait plutôt à 20° d'angle visuel de la position de la cible pour le groupe NVIS. Qui plus est, les participants du groupe VIS prenaient significativement plus de temps que les participants du groupe NVIS pour parcourir la distance comprise entre les positions d'occurrence de la pointe de vitesse et de l'arc d'interception. Cette augmentation du temps pris entre l'atteinte de la pointe de vitesse et le passage de l'arc d'interception indiquait-elle seulement que le curseur avait une distance plus grande à franchir ou plutôt que les participants guidaient leur mouvement vers le point d'interception sur la base des afférences visuelles dynamiques?

Pour répondre à cette question, nous avons déterminé si le curseur se déplaçait toujours en ligne droite vers un point d'interception quelconque ou si celui-ci changeait de direction en cours de déplacement. Les données indiquaient que la trajectoire initiale prise par le curseur entre la base de départ et l'atteinte de la pointe d'accélération ne différait pas entre les groupes VIS et NVIS. Ceci n'était pas surprenant puisqu'il est généralement accepté que la position atteinte lors de la pointe d'accélération représente les caractéristiques du mouvement planifié (Bédard et Proteau, sous-pressé; Elliott, Binsted et Heath, 1999; Krakauer et al., 2000; Lhuisset et Proteau, 2002; Proteau et Isabelle, 2002) et que les informations disponibles aux deux groupes pour réaliser cette planification étaient les mêmes (CR et vision de la cible en déplacement et du curseur sur la base de départ). Pour le groupe NVIS, l'orientation

moyenne de cette trajectoire ne se démentait pas tout au cours du mouvement (17° , 16° , et 17° , lors de l'atteinte des pointes d'accélération, de vitesse et l'arc d'interception, respectivement). Cependant, pour le groupe VIS, on notait une réorientation, quoique non-significative, entre l'atteinte de la pointe d'accélération et celle de vitesse (17° , 12° , et 12° , lors de l'atteinte des pointes d'accélération, de vitesse et l'arc d'interception, respectivement). D'une part, ceci suggère que l'information visuelle relative au curseur et qui était disponible entre l'occurrence des pointes d'accélération et de vitesse permettait aux participants du groupe VIS de réaligner leur mouvement. Cette information était disponible, en moyenne, entre 35° et 26° d'angle visuel, ce qui suggère que cette portion de la rétine permet d'évaluer le déplacement du curseur et, éventuellement, de prédire le point d'interception. Cette observation est importante puisque des travaux récents indiquent que l'information visuelle périphérique disponible au-delà de 20° - 25° d'angle visuel ne permettait ni une meilleure planification, ni un meilleur contrôle en temps réel d'un mouvement de pointage manuel qu'une situation pour laquelle aucune information visuelle dynamique n'était disponible (Abanhini et Proteau, 1999; Proteau et al., 2000). D'autre part, l'observation que, lors de l'acquisition, l'orientation du mouvement du groupe VIS ne s'est pas démentie entre l'atteinte de la pointe de vitesse et le croisement de l'arc d'interception pourrait indiquer que le rôle joué par les afférences visuelles pour assurer la précision de l'interception a pris place uniquement avant l'atteinte de la pointe de vitesse. Nous reviendrons sur ces deux observations un peu plus avant dans le texte.

Le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a engendré une augmentation de l'erreur spatiale d'interception pour les groupes VIS et NVIS et une

augmentation durable de l'erreur variable d'interception seulement pour le groupe VIS. Qui plus est, ces erreurs étaient alors plus grandes pour le groupe VIS que pour le groupe NVIS. L'augmentation de l'erreur notée pour le groupe NVIS indique que le retrait de la connaissance du résultat a engendré une diminution de performance. Ceci suggère que la connaissance du résultat disponible dans les études du groupe de Whiting (Whiting et Savelsbergh, 1992; Whiting, Savelsbergh et Pijpers, 1995) dans des conditions semblables à notre condition NVIS peut certainement expliquer les faibles baisses de performance notées lors du retrait de la vision de la main. Dans le cadre de la présente étude, cette augmentation de l'erreur d'interception lors du retrait de la connaissance du résultat suggère qu'une partie de l'augmentation de l'erreur notée pour le groupe VIS est attribuable au même phénomène. Cependant, seul ce retrait n'explique pas toute l'augmentation de l'erreur notée pour le groupe VIS.

En effet, on note que lors de l'atteinte de la pointe d'accélération, le mouvement d'interception était orienté dans la même direction pour les groupes VIS et NVIS (20° et 19°, respectivement). Encore une fois, cela n'était pas étonnant puisque les deux groupes bénéficiaient des mêmes sources d'information pour planifier leur mouvement d'interception. Pour le groupe NVIS, l'orientation de la trajectoire du curseur ne se démentait pas du début à la fin du mouvement d'interception. Or, cette orientation était significativement plus à droite que l'orientation notée lors de la phase d'acquisition. Le retrait de la connaissance du résultat a donc affecté la planification du mouvement pour le groupe NVIS. Pour le groupe VIS, contrairement à ce qui avait été observé lors de l'acquisition, l'orientation du mouvement d'interception ne se modifie pas entre l'occurrence des pointes d'accélération et de vitesse. Ceci suggère que le retrait de l'information visuelle périphérique relative au déplacement du curseur n'a pas permis

aux participants de mettre à jour l'exécution de leur mouvement comme cela avait été remarqué lors de la phase d'acquisition. De façon plus importante, lors du transfert, on nota un changement d'orientation marqué pour le groupe VIS entre l'atteinte de la pointe de vélocité (21°) et le croisement de l'arc d'interception (26°). Ce changement d'orientation du mouvement fit en sorte que les participants de ce groupe croisèrent l'arc d'interception loin au-devant de la cible. Ceci résulta en une erreur d'interception, lors du transfert, qui était largement plus grande que celle notée pour le groupe NVIS. Cette augmentation de l'erreur notée pour le groupe VIS entre la pointe de vélocité et le croisement de l'arc d'interception indique que le changement de direction était basé sur une information erronée en ce qui a trait à la position du curseur déplacé par les participants. Les participants du groupe VIS étaient devenus dépendants de la disponibilité de l'information visuelle relative au déplacement du curseur, comme il a souvent été noté dans les études de pointage manuel (Lhuisset et Proteau, sous-pressé; Proteau, 1995; Proteau et al., 1987; Proteau et Carnahan, 2001; Proteau et Cournoyer, 1990; Proteau et Isabelle, 2002; Proteau, Marteniuk et Lévesque, 1992; Soucy et Proteau, 2001).

CHAPITRE 3. LE RÔLE DES AFFÉRENCES VISUELLES POUR LE CONTRÔLE D'UN MOUVEMENT D'INTERCEPTION MANUELLE

L'argumentation développée au chapitre précédent suggère que l'information visuelle périphérique relative au déplacement du curseur est analysée même en assez grande périphérie de la rétine et peut être utilisée rapidement pour mettre à jour le mouvement en cours de réalisation. Comme cette position est basée sur une observation qui n'est pas supportée par un résultat statistique significatif, elle est sujette à caution et doit être vérifiée expérimentalement. Le premier but de la deuxième expérience de ce mémoire était de réaliser cette vérification expérimentale en utilisant une condition expérimentale pour laquelle le curseur déplacé par le participant serait visible uniquement entre 40° et 30° d'angle visuel.

Par ailleurs, l'observation qu'aucun changement d'orientation n'a été retrouvé pour le groupe VIS entre l'occurrence de la pointe de vélocité et le croisement de l'arc d'interception lors de l'acquisition peut prêter à deux interprétations. D'une part, cela peut indiquer que la vision du curseur en-deçà de 26° d'angle visuel n'est pas utile au contrôle d'un mouvement d'interception. Cela serait étonnant puisque les participants bénéficiaient alors de plus de 300 ms pour ajuster leur mouvement à la trajectoire de la cible, ce qui est plus que suffisant pour faire une correction si le besoin s'en fait sentir (voir Carlton, 1992 pour une revue). Qui plus est, dans des tâches de pointage manuel ou vidéo, c'est précisément l'information disponible en-deçà de 20° - 25° d'angle visuel qui s'est avérée être la plus utile pour le contrôle et la planification du mouvement (Abahnini et Proteau, 1999; Bédard et Proteau, sous-presse; Proteau et al., 2000). D'autre part, l'observation précédente pourrait aussi indiquer que l'information visuelle disponible était analysée et que le résultat de cette analyse n'indiquait pas qu'une correction était nécessaire. Le deuxième objectif de la deuxième expérience de

ce mémoire était de déterminer le rôle de l'information visuelle dynamique disponible entre 30° et 15° d'angle visuel pour assurer la précision d'un geste d'interception.

Pour atteindre nos objectifs, quatre groupes de participants ont réalisé une tâche d'interception vidéo semblable à celle utilisée dans la première expérience. Pour le groupe NVIS, le curseur n'était visible que jusqu'à l'amorce du mouvement d'interception. Pour deux autres groupes, le curseur était visible jusqu'à ce qu'il atteigne 30° ou 15° d'angle visuel par rapport à la cible (groupes VP-30 et VP-15, respectivement). Pour un dernier groupe, le curseur était visible tout au long du mouvement d'interception (groupe VIS). Si la vision du curseur en périphérie de la rétine aide à la précision spatiale d'un mouvement d'interception alors : a) la précision directionnelle du mouvement d'interception devrait être supérieure pour les groupes 40-30° et 40-15° que pour le groupe NVIS et aussi précis que pour le groupe VIS; par ailleurs, si l'information disponible entre 30° et 15° d'angle visuel n'aide pas au contrôle du mouvement, les groupes VP-30 et VP-15 ne devraient pas se différencier l'un de l'autre, b) le retrait des informations visuelles dynamiques pour les groupes de 40-30°, 40-15°, et VIS dans une phase de transfert devrait engendrer une augmentation de l'erreur d'interception plus grande que celle retrouvée pour le groupe NVIS, et c) la précision plus grande proposée pour les groupes 40-30°, 40-15°, et VIS devrait être associée à des modifications en cours de mouvement de la trajectoire du curseur manipulé par les participants.

MÉTHODOLOGIE

Participants

Les 40 participants étaient étudiants du premier cycle au Département de kinésiologie de l'Université de Montréal. Ils n'avaient aucune expérience relative à la tâche expérimentale et n'étaient pas informés des objectifs de l'étude. Le tout s'est déroulé avec le consentement des participants.

Tâche, appareillage et procédure

La tâche consistait à intercepter une cible en mouvement présentée sur un écran d'ordinateur à l'aide d'un curseur présenté sur le même écran. Le déplacement d'un manipulandum, contrôlé par le participant, sur une table horizontale entraînait le déplacement du curseur. L'appareillage est le même que celui utilisé à l'expérience 1 (voir figure 1 de la première expérience à la page 20).

L'expérience s'est déroulée dans un local éclairé uniquement par la lumière de l'écran d'ordinateur décrit plus haut. Au début de chaque essai, les participants devaient placer le stylet à la base de départ. Un délai de 500 ms prenait place entre la stabilisation du stylet sur la base de départ et l'apparition de la cible. La cible apparaissait à la gauche de l'écran et, dès son apparition, se déplaçait vers la droite. Le point de départ de la cible illustré à l'écran d'ordinateur se situait à -50° par rapport au plan sagittal médian du participant (0° étant au centre de l'écran). La cible se déplaçait à une vitesse constante de $60^\circ/\text{s}$ pour tous les essais. Les participants devaient intercepter le plus précisément possible cette cible à l'aide du curseur. Ils étaient informés qu'il ne s'agissait pas d'une tâche de temps de réaction et qu'ils pouvaient amorcer leur mouvement lorsqu'ils le désiraient. Les participants ne devaient pas tenter d'immobiliser le curseur directement sur la cible. Ils devaient plutôt tenter de

« frapper » cette cible à l'aide du curseur. De plus, ils étaient informés qu'ils devaient suivre la cible des yeux pendant l'exécution du mouvement.

Les participants ont pris part à deux phases expérimentales. Les participants ont d'abord réalisé une phase d'acquisition. Lors de cette phase, ils ont effectué la tâche pour 150 essais sous l'une de quatre conditions expérimentales. Dix participants ont effectué la tâche en condition de vision normale (VIS) et dix participants ont réalisé la tâche en condition de non-vision (NVIS) du curseur. Pour le groupe VIS, le curseur était visible sur la base de départ et tout au long du déplacement vers la cible alors que pour le groupe NVIS le curseur n'était visible que sur la base de départ. La cible se déplaçait toujours sur un rayon de 32 cm par rapport à la base de départ illustrée à l'écran d'ordinateur (cette distance était de 30 cm lors de la première expérience). Deux conditions de vision périphérique ont aussi été évaluées. La première condition permettait aux participants de voir le curseur en déplacement entre 40.1° et 15° d'angle visuel (40.1° d'angle visuel correspond à la base de départ), alors que pour la seconde le curseur était visible entre 40.1° et 30° d'angle visuel. Les deux groupes de vision périphérique (VP-15 et VP-30) étaient chacun composés de dix participants. Afin de s'assurer que le curseur ne serait visible que dans les portions prescrites du champ visuel, la tête du participant était maintenue par une mentonnière à une distance fixe de l'écran d'ordinateur, soit 38 cm. L'angle visuel compris entre la base de départ et l'arc d'interception était donc de 40.1° ($\arctan 32 \text{ cm} / 38 \text{ cm}$).

Le curseur était toujours visible sur la base de départ avant l'amorce du mouvement. Après chaque essai de la phase d'acquisition, une connaissance du résultat comprenant le temps de mouvement, l'erreur angulaire en degrés (le signe négatif indiquait que le curseur passait à gauche de la cible, le positif à droite) et la

représentation graphique de la position du curseur au point de croisement de la trajectoire de la cible était présentée à l'écran d'ordinateur.

Suite à la phase d'acquisition, tous les participants ont pris part à une phase de transfert. Dans cette phase, tous les participants devaient effectuer la tâche en condition NVIS. La position de la base de départ, la vitesse et la trajectoire de la cible restaient les mêmes que lors de la phase d'acquisition. Trente essais ont été réalisés dans la phase de transfert. La connaissance du résultat était supprimée pour tous les participants lors de cette phase.

Traitement des données et définition des variables dépendantes

Les données ont été traitées comme celles de la première expérience et nous en avons tiré les mêmes variables dépendantes. Comme pour la première expérience, les détails des différentes analyses statistiques sont présentés à la prochaine section. Encore une fois, la correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée lorsque la valeur de l'épsilon était inférieure à 1. Les effets principaux et d'interactions significatifs ont été décomposés à l'aide de la technique de Newman-Keuls, $p < .05$.

RÉSULTATS

Acquisition

Afin de déterminer les effets de la pratique sur les différentes variables dépendantes, les données de la phase d'acquisition ont été soumises indépendamment à une ANOVA à deux voies contrastant quatre groupes (VIS, NVIS, VP-15 et VP-30) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec mesures répétées sur le dernier facteur. Il est à noter que les données d'un participant du groupe VP-30 ont été perdues

et que, par conséquent, le groupe VP-30 était composé de neuf participants lors de l'analyse statistique.

Au niveau du délai d'amorce et tel qu'illustré à la figure 9 (p. 58), on note un effet significatif du bloc, $F(14, 490) = 2.69$, qui indique que les participants ont un temps d'amorce qui diminue significativement du bloc 1 (552 ms) au bloc 2 (524 ms) et qui se stabilise par la suite autour de 500 ms.

En ce qui a trait au moment d'occurrence des différents marqueurs cinématiques (d'accélération, de vitesse et de fin du mouvement), ainsi que la position du curseur à l'occurrence de ces marqueurs, les données ont été soumises à une analyse de variance à trois voies contrastant les facteurs suivants : quatre groupes (VIS, NVIS, VP-15 et VP-30), trois positions du curseur (aux pics d'accélération et de vitesse, et au point d'interception) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec des mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

Concernant le moment d'occurrence des marqueurs cinématiques, l'ANOVA révèle des effets principaux de groupe, $F(3, 35) = 4.02$, de marqueur, $F(2, 70) = 242.2$, et de bloc, $F(14, 490) = 3.39$. On remarque aussi des interactions significatives entre le groupe et le marqueur, $F(6, 70) = 4.14$, entre le marqueur et le bloc, $F(28, 980) = 3.84$, ainsi qu'une interaction à trois voies groupe x marqueur x bloc, $F(84, 980) = 1.54$. La décomposition de cette dernière montre principalement des effets significatifs sur le temps de mouvement. Cette interaction est illustrée à la figure 10 (p. 59). La première constatation qui s'impose est que le moment d'atteinte des pics d'accélération et de vitesse n'est pas significativement différent d'un groupe à l'autre ou d'un bloc à l'autre. Cependant, plus la période de visibilité du curseur est augmentée (VIS > VP-15 > VP-30 > NVIS) plus le temps de mouvement augmente, donc plus les participants

passent de temps entre l'atteinte du pic de vélocité et le croisement de l'arc d'interception. De plus, pour les groupes NVIS et VP-30, le temps de mouvement est stable tout au long de la phase d'acquisition. Au contraire, pour les groupes VP-15 et VIS on note une augmentation du temps de mouvement en fonction de la pratique. Pour le groupe VP-15, le temps de mouvement passe de 800 ms au bloc 1 à 920 ms au bloc 8 pour se stabiliser autour de cette dernière valeur pour le reste de la phase d'acquisition. Pour le groupe VIS, on note plutôt une augmentation graduelle moyenne du temps de mouvement de 7 ms par bloc d'essais, celui-ci passant de 921 ms du bloc 1 à 1026 ms au bloc 15. Il en résulte que le temps compris entre le pic de vitesse et l'arc d'interception est plus long pour les groupes VIS et VP-15 (environ 425 ms) que pour les deux autres groupes (environ 240 ms). Il est à noter, sur la figure 10 (p. 59), que cette différence entre les groupes VP-15 et VIS et les groupes VP-30 et NVIS s'accroît avec la pratique.

En ce qui a trait à la position angulaire du curseur à l'occurrence de différents marqueurs cinématiques (i.e., l'angle sous-tendu par la position du curseur par rapport au plan sagittal du participant), l'ANOVA révèle un effet principal du bloc, $F(14, 490) = 3.08$, et une interaction significative groupe \times bloc, $F(42, 490) = 1.85$. L'interaction est illustrée aux figures 11 a, b, c, d (p. 60-63). Au premier bloc, on remarque que l'orientation du mouvement d'interception ne se démarque pas significativement d'un groupe expérimental à l'autre (en moyenne 16.1°). Cependant, avec la pratique, on remarque que les participants du groupe VIS orientent leur mouvement de plus en plus vers la droite alors que pour les trois autres groupes expérimentaux on observe plutôt le contraire, et ce, surtout pour les trois ou quatre premiers blocs de la phase d'acquisition. Il en résulte qu'à la fin de la phase d'acquisition, les mouvements du

groupe VIS sont orientés significativement plus à droite (20°) que ceux des trois autres groupes qui ne se démarquent pas significativement l'un de l'autre (11.9° , 10.7° et 11.5° , pour les groupes VP-15, VP-30 et NVIS, respectivement).

En ce qui concerne la distance restante entre le curseur et l'arc d'interception lors de l'occurrence de différents marqueurs cinématiques (pics d'accélération et de vitesse) les données ont été soumises à une ANOVA à trois voies contrastant les facteurs suivants : quatre groupes (VIS, NVIS, VP-15 et VP-30) x deux positions du curseur (au pic d'accélération, de vitesse) x quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. L'ANOVA révèle des effets principaux de groupe, $F(3, 35) = 3.03$, de marqueur, $F(1, 35) = 1095.52$ et de bloc, $F(14, 490) = 1.82$. Tel qu'illustré à la figure 12 (p. 64), et sans que cela n'étonne qui que ce soit, la pointe d'accélération était atteinte plus loin de l'arc d'interception que la pointe de vitesse. De façon plus intéressante, les groupes VP-15 et VIS atteignaient les deux marqueurs plus loin de l'arc d'interception que les groupes VP-30 et NVIS. Il n'y avait cependant aucune différence significative entre les deux groupes de chacun de ces deux regroupements

Les données de l'erreur constante, de l'erreur constante absolue et de l'erreur variable d'interception de la phase d'acquisition ont été soumises indépendamment à une ANOVA à deux voies contrastant quatre groupes (VIS, NVIS, VP-15 et VP-30) et quinze blocs d'essais (1-10, 11-20, 21-30, ...) avec mesures répétées sur le dernier facteur.

Pour l'erreur constante d'interception, on note des effets principaux du groupe, $F(3, 35) = 2.98$ et du bloc, $F(14, 490) = 3.77$. La décomposition de l'effet du groupe indique que le léger biais négatif trouvé pour le groupe VP-15 (-0.94°) le démarque du

groupe NVIS qui, lui, montre plutôt un biais positif (2.59°). C'est là la seule différence significative. Pour ce qui est de l'effet du bloc, on note un biais positif significativement plus grand aux blocs 1 (2.88°) et 2 (2.11°) que pour l'ensemble des autres blocs qui ne se distinguent pas significativement les uns des autres (en moyenne : 0.51° ; voir figure 13 à la page 65).

L'erreur constante absolue révèle, tout comme l'erreur constante, des effets principaux du bloc, $F(14, 490) = 4.93$, et du groupe, $F(3, 35) = 5.52$, de même qu'une interaction significative entre ces deux facteurs, $F(42, 490) = 1.47$. Tel qu'illustré à la figure 14 (p. 66), l'interaction groupe x bloc montre que le groupe VIS a une erreur constante absolue significativement moins élevée que celle des trois autres groupes. L'erreur constante absolue du groupe VIS est faible et reste stable au cours de la pratique. L'erreur constante absolue des groupes VP-15, VP-30 et NVIS ne diffère pas significativement d'un groupe à l'autre. Cependant, alors que l'erreur constante absolue du groupe VP-15 diminue plus ou moins progressivement en fonction de la pratique, on note un comportement beaucoup plus erratique en fonction des blocs pour les groupes VP-30 et NVIS. Pour ces deux groupes, on note une diminution significative de l'erreur constante absolue pour les trois premiers blocs, puis une stabilisation de cette variable jusqu'au dixième bloc de la pratique. Par la suite, cette erreur remonte sur quelques blocs pour redescendre vers la toute fin de la phase d'acquisition.

L'erreur variable d'interception révèle uniquement un effet principal significatif du groupe, $F(3, 35) = 31.50$. La décomposition de cet effet indique, tel qu'illustré à la figure 15 (p. 67), que le groupe VIS (2.04°) est moins variable que les

groupes VP-15 (3.11°) et VP-30 (3.79°) qui ne se distinguent pas entre eux, mais qui ont une erreur variable significativement plus petite que le groupe NVIS (5.49°).

Résumé. Les données de la phase d'acquisition indiquent que les participants du groupe VIS sont plus précis et moins variables que les participants des trois autres groupes. Ceci suggère que la vision complète du curseur déplacé par le participant permettait à ces derniers de mieux juger de l'à propos de leur mouvement. Cette plus grande précision pour le groupe VIS que pour les trois autres groupes vient en partie du fait qu'ils passent plus de temps entre l'atteinte de la pointe de vélocité et l'arc d'interception, et que le déplacement du curseur se fait alors à une vitesse beaucoup moins élevée que pour les groupes NVIS et VP-30. Ces considérations ne peuvent cependant pas expliquer à elles seules la différence de performance notée entre les groupes VIS et VP-15, puisque ces deux groupes se démarquent fort peu l'un de l'autre en ce qui a trait au temps passé entre la pointe de vitesse et l'arc d'interception et la vitesse du mouvement dans cette portion de l'espace. La vision du curseur dans les derniers moments du mouvement permet aux participants d'être plus précis et moins variables que lorsque cette portion du mouvement est obstruée.

Acquisition versus transfert

Afin de déterminer les effets du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert, les données des différentes variables dépendantes pour les trois derniers blocs de la phase d'acquisition ont été comparées à celles obtenues lors des trois blocs de la phase de transfert, ce qui permet de déterminer les effets du retrait de la connaissance du résultat (groupe NVIS) et de l'information visuelle dynamique (groupe VIS, VP-15, VP-30) sur la performance d'interception.

Pour ce qui est du délai d'amorce, les données ont été soumises de façon individuelle à une ANOVA contrastant quatre groupes (VIS, VP-15, VP-30 et NVIS), deux phases expérimentales (acquisition et transfert) et trois blocs d'essais avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. L'ANOVA révèle un effet principal de phase, $F(1, 35) = 20.27$. Cet effet indique une augmentation du délai d'amorce lors du passage de la phase d'acquisition ($M = 407$ ms) à la phase de transfert ($M = 551$ ms).

En ce qui a trait à la position angulaire du curseur lors de l'occurrence de différents marqueurs cinématiques et du temps requis pour atteindre ces positions, les données ont été soumises à une analyse de variance à quatre voies : quatre groupes (VIS, VP-15, VP-30 et NVIS), trois positions du curseur (accélération, vitesse et interception), deux phases expérimentales (acquisition et transfert) et trois blocs (121-130, 131-140, 141-150 de l'acquisition et 1-10, 11-20, 21-30 du transfert) avec des mesures répétées sur les trois derniers facteurs.

Tout d'abord, en ce qui concerne le temps requis pour atteindre les pics d'accélération / de vitesse et l'arc d'interception, on remarque un effet principal de groupe, $F(3, 35) = 3.23$ et un effet principal de marqueur, $F(2, 70) = 206.1$. De plus, plusieurs interactions significatives ont été retrouvées : groupe x marqueur, $F(6, 70) = 3.66$, marqueur x phase, $F(2, 70) = 4.73$, marqueur x bloc, $F(4, 140) = 3.30$, phase x bloc, $F(2, 70) = 3.17$, et finalement, marqueur x phase x bloc, $F(4, 140) = 4.35$. La décomposition de l'interaction groupe x marqueur indique que les quatre groupes ne diffèrent pas significativement l'un de l'autre en ce qui a trait au temps requis pour atteindre les points d'accélération et de vitesse. Cependant comme lors de l'acquisition, le temps requis pour l'atteinte de l'arc d'interception est significativement plus court pour les groupes VP-30 ($M = 688$ ms) et NVIS ($M = 734$

ms), qui ne se démarquent pas significativement l'un de l'autre, que pour les groupes VP-15 (\underline{M} = 931 ms) et VIS (\underline{M} = 910 ms). Les groupes VP-15 et VIS ne se démarquent pas l'un de l'autre. La décomposition de l'interaction à trois voies révèle que le passage de l'acquisition au transfert n'a pas causé de changements significatifs quant au temps requis pour atteindre le pic d'accélération. Tel n'est pas le cas pour le pic de vitesse. Alors que le pic de vitesse est atteint dans un délai de 470 ms pour les trois derniers blocs de la phase d'acquisition, ce délai augmente à 480 ms lors du premier bloc de transfert puis augmente encore de 20 ms pour les deux derniers blocs de cette phase (figure 10, p. 59). Finalement, alors que le temps requis pour atteindre l'arc d'interception était fixe à environ 830 ms pour les trois derniers blocs de la phase d'acquisition, on note une diminution significative de ce délai de 50 ms lors du passage du premier au troisième bloc de transfert.

En ce qui a trait à la position angulaire du curseur, l'ANOVA a révélé un effet principal du groupe, $F(3, 35) = 3.25$, et une interaction significative de marqueur x phase, $F(2, 70) = 6.28$. L'effet principal du groupe indique que le groupe VIS oriente son mouvement d'interception plus à droite du plan sagittal médian (22.6°) que les trois autres groupes (14.7° , 13.3° et 11.6° , pour les groupes VP-15, VP-30 et NVIS, respectivement). La décomposition de l'interaction marqueur x phase indique que jusqu'à l'atteinte de la pointe de vitesse l'orientation des mouvements d'interception ne diffère pas entre les deux phases expérimentales. Cependant, lors de l'acquisition, le mouvement dévie significativement sur la gauche entre l'atteinte de la pointe de vitesse et l'atteinte de l'arc d'interception. Au contraire, lors du transfert, le mouvement dévie plutôt sur la droite (non-significatif) entre l'atteinte de la pointe de vitesse et la fin du mouvement. Il en résulte une différence significative du point

d'interception lors du passage de la phase d'acquisition (11.8°) à la phase de transfert (18.2°).

Concernant la distance comprise entre les pics d'accélération / vitesse et la fin du mouvement, les données ont été soumises à une ANOVA à quatre voies contrastant les facteurs suivants : quatre groupes (VIS, VP-15, VP-30 et NVIS), deux positions du curseur (accélération, vitesse), deux phases expérimentales (acquisition et transfert) et trois blocs d'essais avec des mesures répétées sur les trois derniers facteurs.

L'ANOVA révèle des effets principaux de groupe, $F(3, 35) = 2.88$, de marqueur, $F(1, 35) = 758.1$, et de phase, $F(1, 35) = 4.34$. De plus, on observe des interactions significatives marqueur x phase, $F(1, 35) = 5.53$, et marqueur x bloc, $F(2, 70) = 5.33$. La décomposition de l'effet de groupe ne révèle aucune différence significative entre ces derniers. Pour ce qui est de l'interaction marqueur x phase, la figure 12 (p. 64) illustre que le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a causé une diminution significative de la distance comprise entre la position du curseur lors de l'atteinte de la pointe de vitesse et la position du curseur à la fin du mouvement, passant de 170 mm à 160 mm.

Les données de l'erreur constante, de l'erreur constante absolue et de l'erreur variable ont été soumises de façon individuelle à une ANOVA contrastant quatre groupes (VIS, VP-15, VP-30 et NVIS), deux phases expérimentales (acquisition et transfert) et trois blocs d'essais avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

Pour l'erreur constante d'interception, on note un effet d'interaction entre le groupe et la phase, $F(3, 35) = 4.11$. La décomposition de l'effet d'interaction n'indique aucune différence significative entre les conditions de feedback visuel lors de l'acquisition. De plus, le passage de l'acquisition au transfert n'entraîne pas de

modification de l'erreur constante, et ce, peu importe la condition de feedback visuel lors de l'acquisition. De fait, le test post-hoc Newman-Keuls indique seulement que le groupe NVIS lors du transfert a un biais négatif (-2.60°) qui le démarque significativement du biais positif noté pour le groupe VIS lors de la même phase (5.18° ; voir la figure 13, p. 65).

L'ANOVA calculée sur l'erreur constante absolue d'interception révèle un effet principal de phase, $F(1, 35) = 43.73$, ainsi qu'une interaction phase x bloc, $F(2, 70) = 4.80$. L'interaction phase x bloc révèle une erreur constante absolue qui ne se démarque pas significativement pour les trois derniers blocs de la phase d'acquisition (3.13° , 2.66° et 2.16° , respectivement). Le passage du dernier bloc d'acquisition au premier bloc de transfert a engendré une augmentation significative de cette erreur (6.38°). Cette dernière augmente encore significativement du premier au troisième bloc de la phase de transfert (8.5°).

Concernant l'erreur variable, l'ANOVA révèle des effets principaux significatifs de groupe, $F(3, 35) = 4.16$, et de phase, $F(1, 35) = 50.12$, ainsi qu'un effet d'interaction significatif groupe x phase, $F(3, 35) = 13.10$. Cette interaction est illustrée à la figure 15 (p. 67). La décomposition de l'interaction révèle que le passage d'une phase à l'autre n'a causé aucune augmentation significative de l'erreur variable pour le groupe NVIS (5.19° vs 5.21°). Au contraire, une augmentation significative de la variabilité est notée pour les participants des groupes VP-15 (3.0° vs 4.46°) et VIS (2.1° vs 5.8°), alors qu'une tendance à cet effet est notée pour le groupe VP-30 (3.7° vs 4.7° , $p = .07$), lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Dans la phase de transfert seuls les groupes VP-15 et VIS se démarquent l'un de l'autre avec des erreurs respectives de 4.5° et de 5.8° .

Résumé. Le passage de l'acquisition au transfert n'a pas modifié de façon très marquée le déroulement temporel du mouvement puisque les groupes VIS et VP-15 passent toujours plus de temps que les deux autres groupes entre l'occurrence du pic de vitesse et le croisement de l'arc d'interception. On note cependant que les quatre groupes passent moins de temps dans cette phase finale du mouvement que lors de l'acquisition. Concernant l'aspect spatial du mouvement, on note que le mouvement est orienté davantage vers la droite lors du transfert que lors de l'acquisition. Ceci est au moins partiellement dû au fait d'une augmentation du temps d'amorce lors du passage de l'acquisition au transfert. Cet ajustement prend cependant surtout place à la fin du mouvement. En effet, alors que la fin du mouvement était redirigée vers la gauche entre l'atteinte de la pointe de vélocité et la fin du mouvement lors de l'acquisition, l'inverse se produisait lors du transfert. Finalement, le passage de l'acquisition au transfert a entraîné une augmentation du biais d'interception pour les quatre groupes expérimentaux, ce biais augmentant d'un bloc de transfert à l'autre. La variabilité d'interception augmentait aussi de l'acquisition au transfert, mais seulement pour les groupes qui avaient bénéficié d'une source visuelle dynamique lors de l'acquisition.

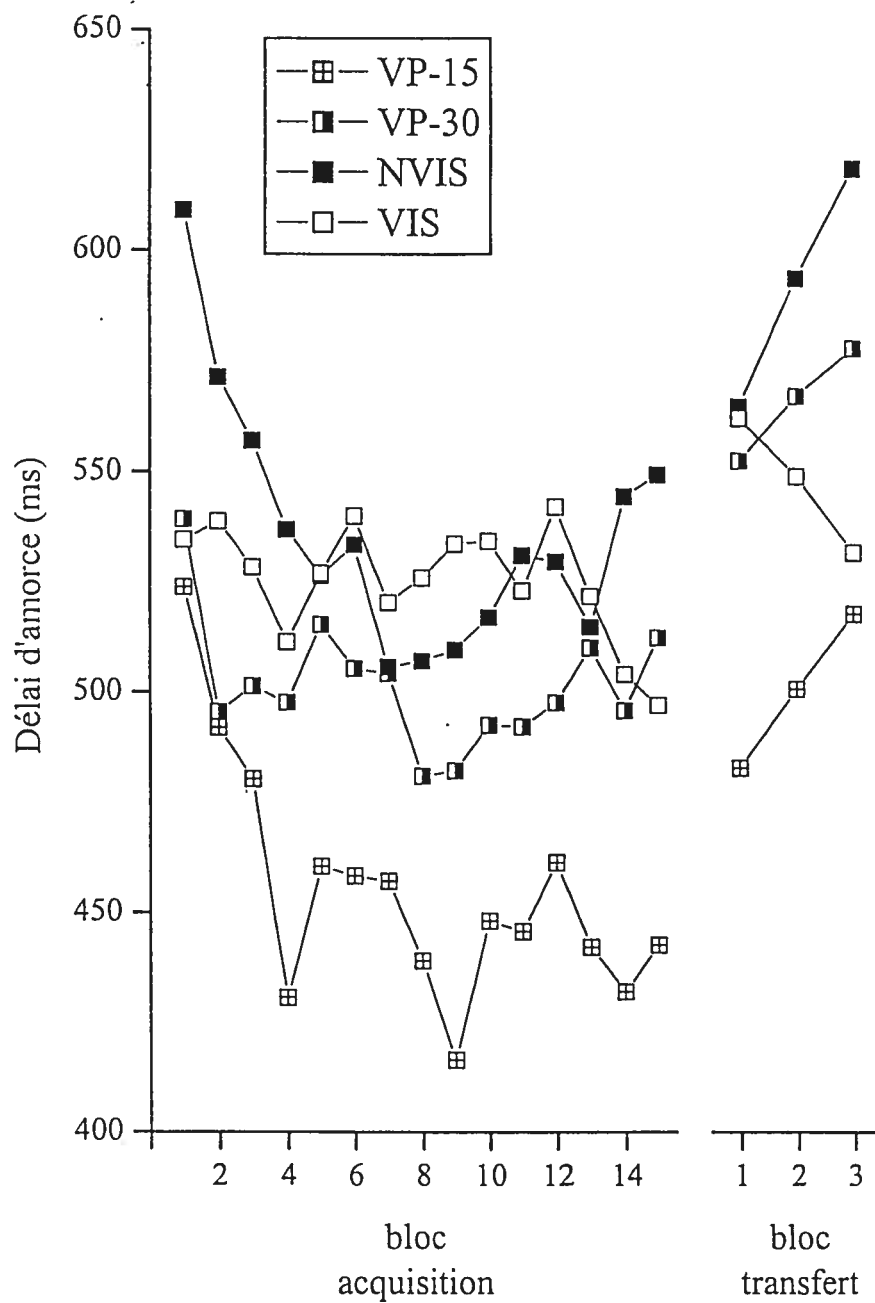


Figure 9

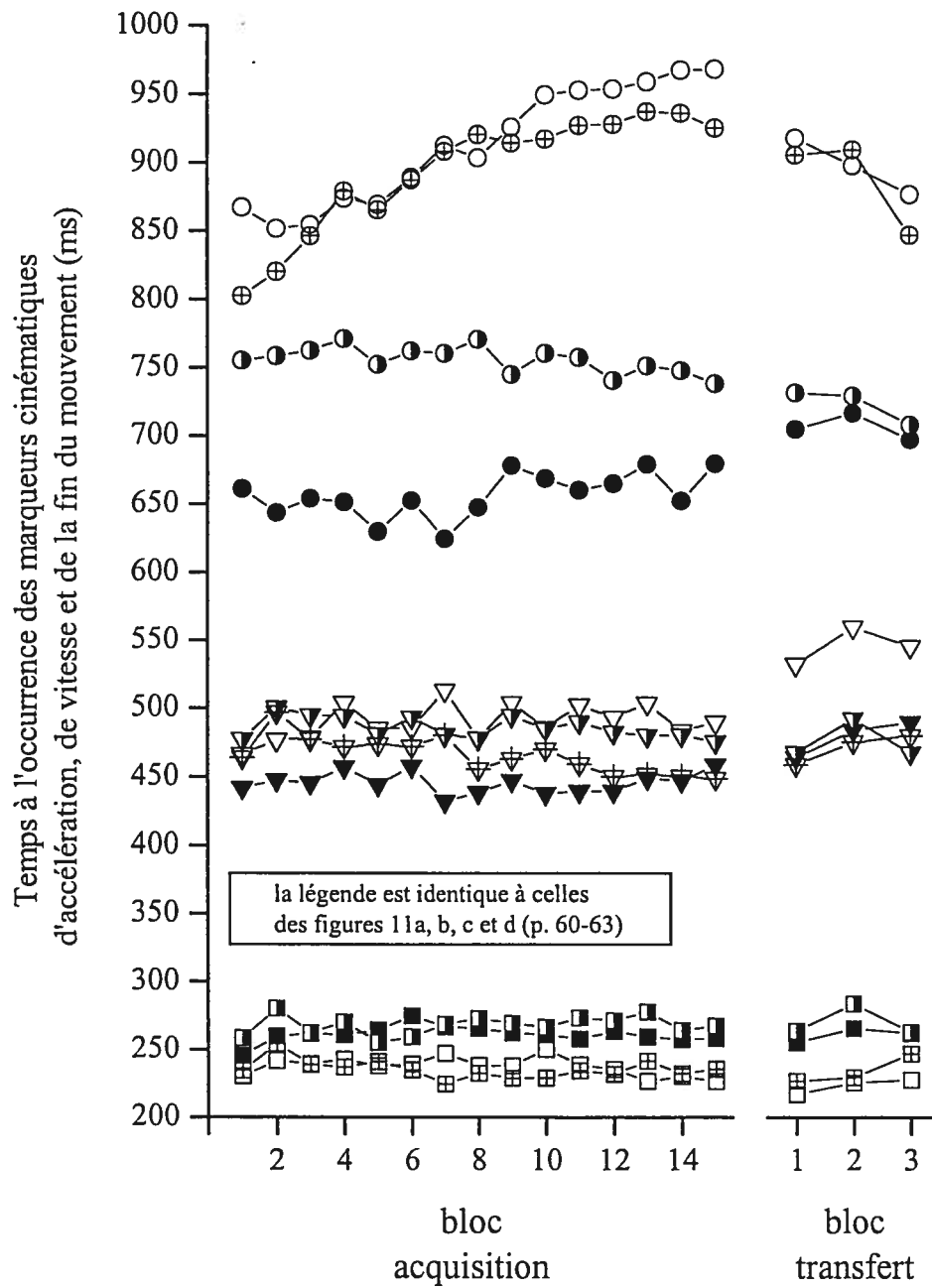


Figure 10

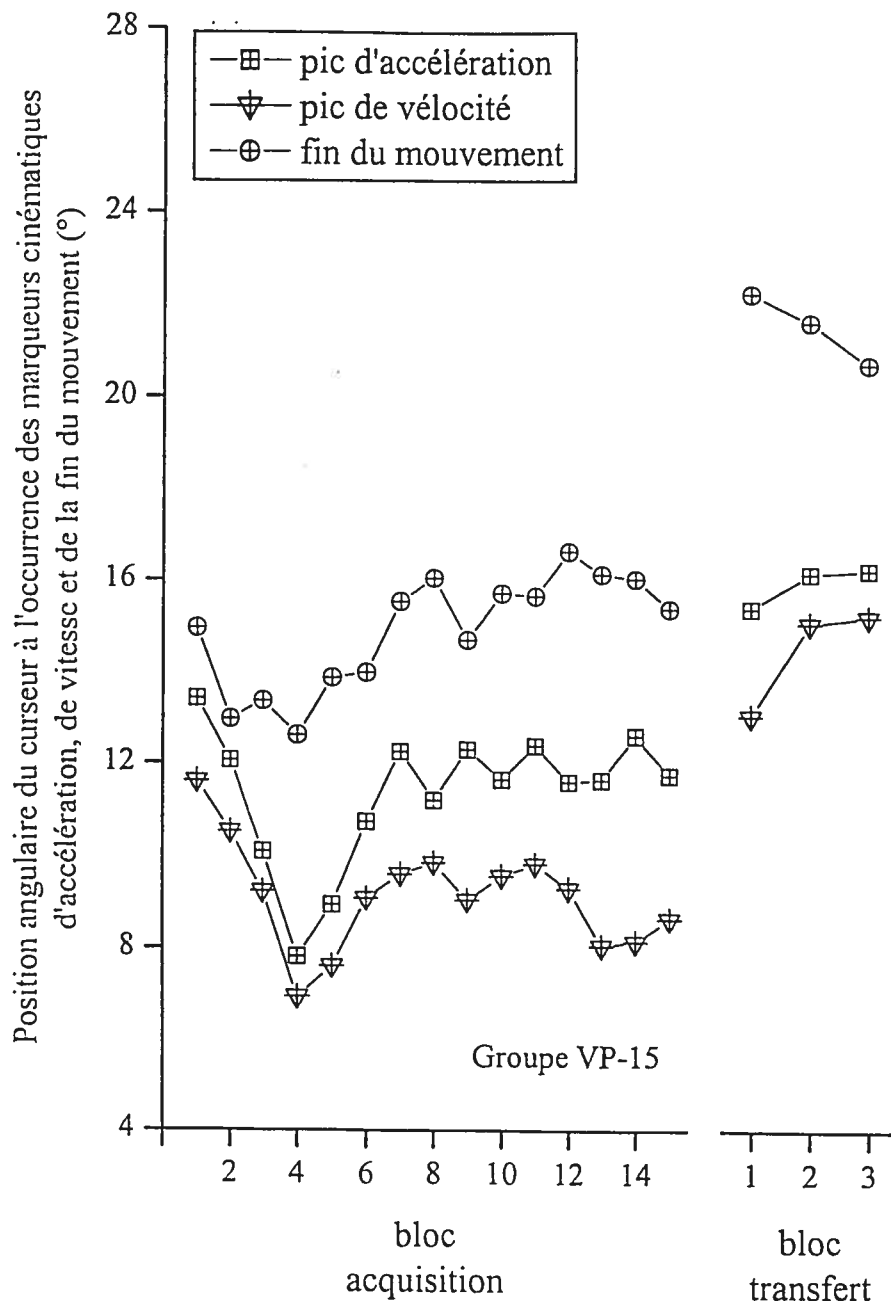


Figure 11 a

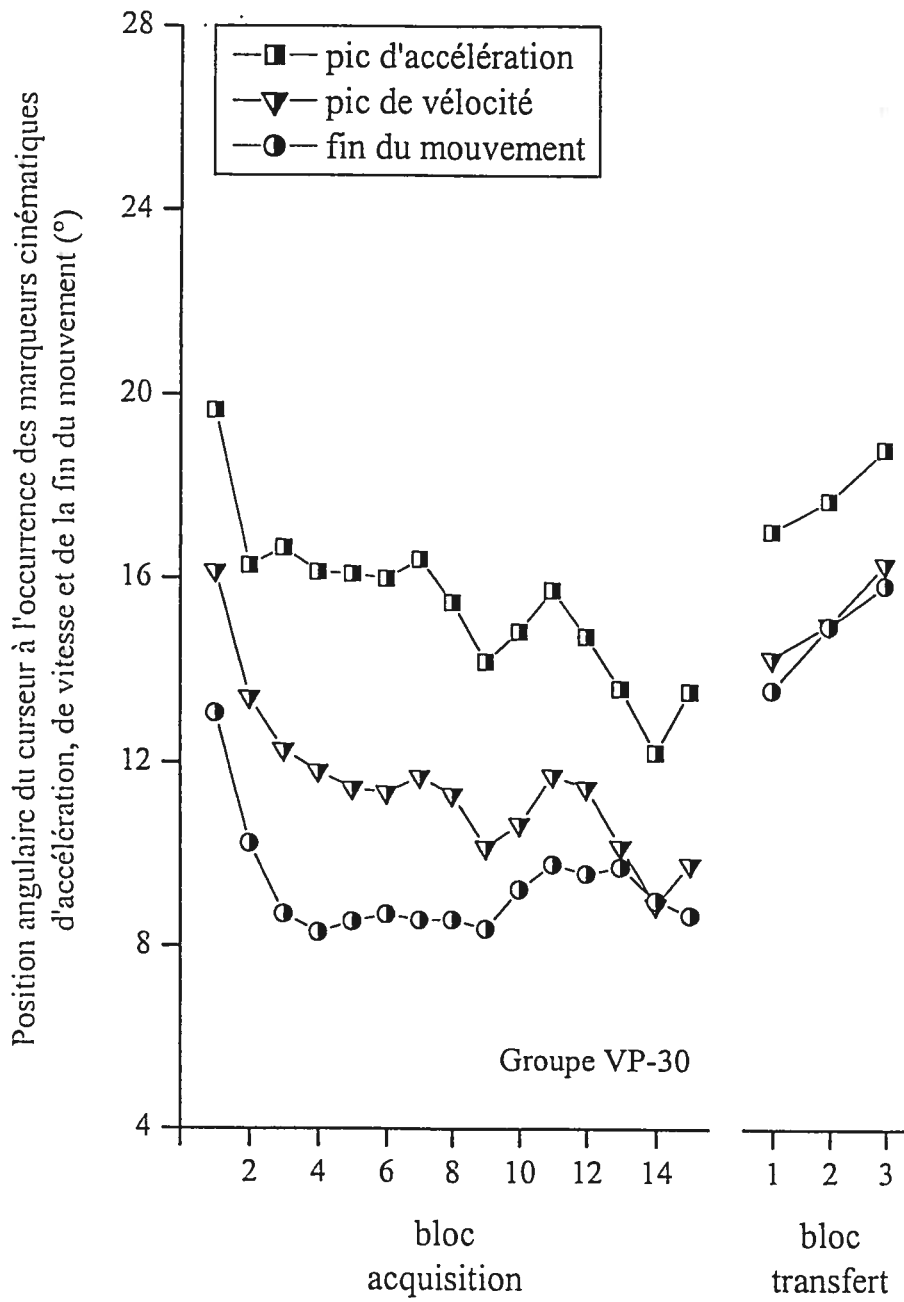


Figure 11 b

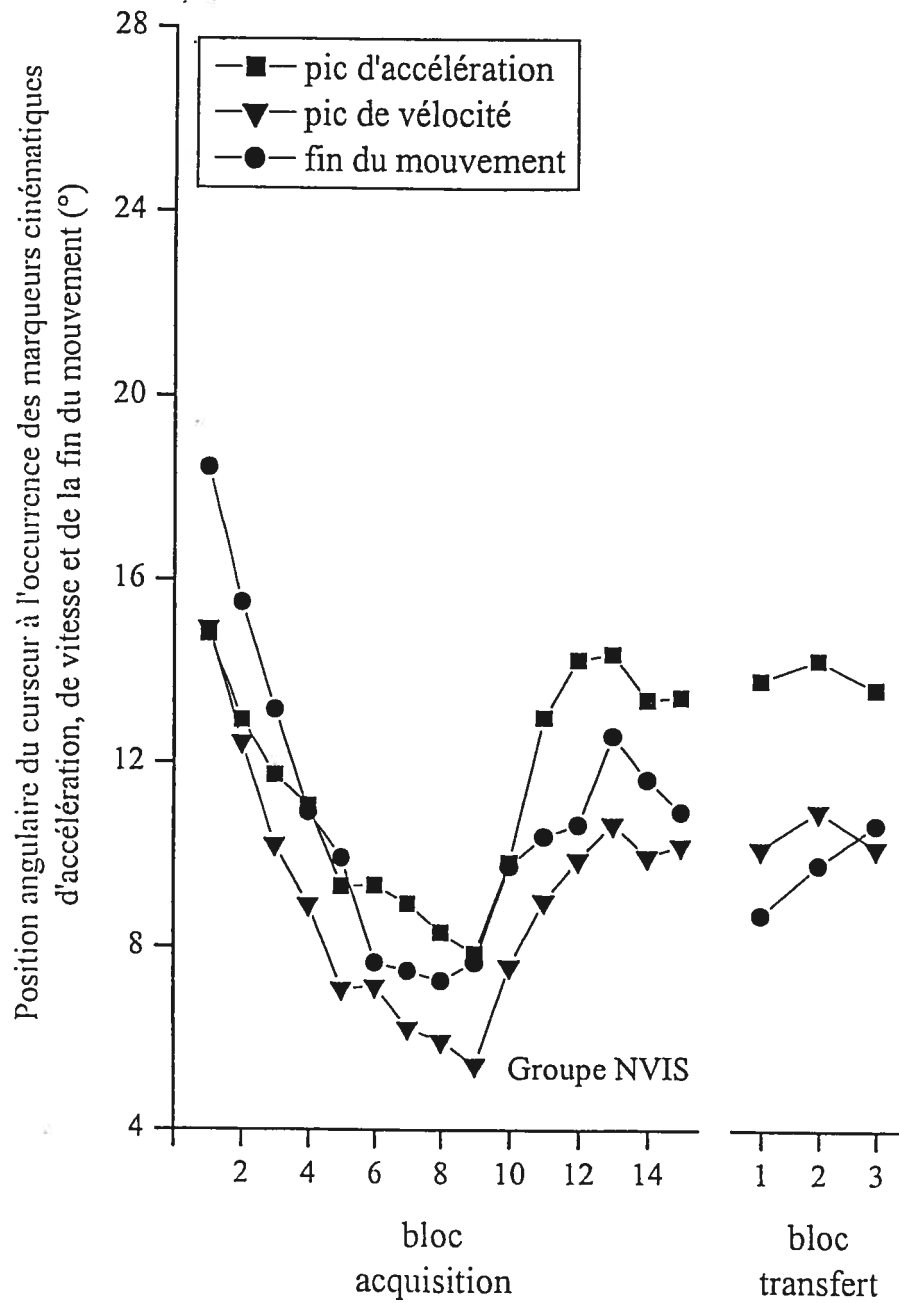


Figure 11c

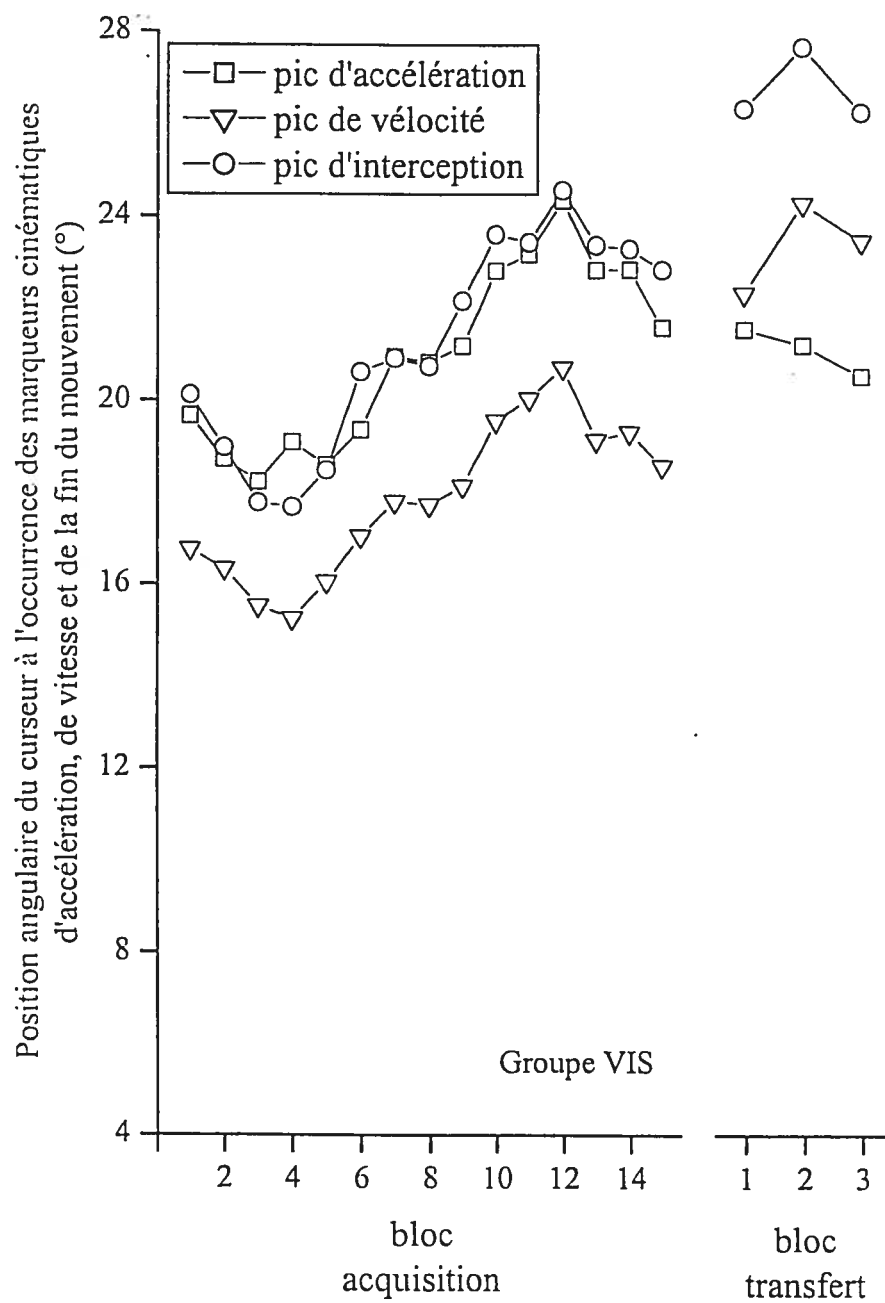


Figure 11 d

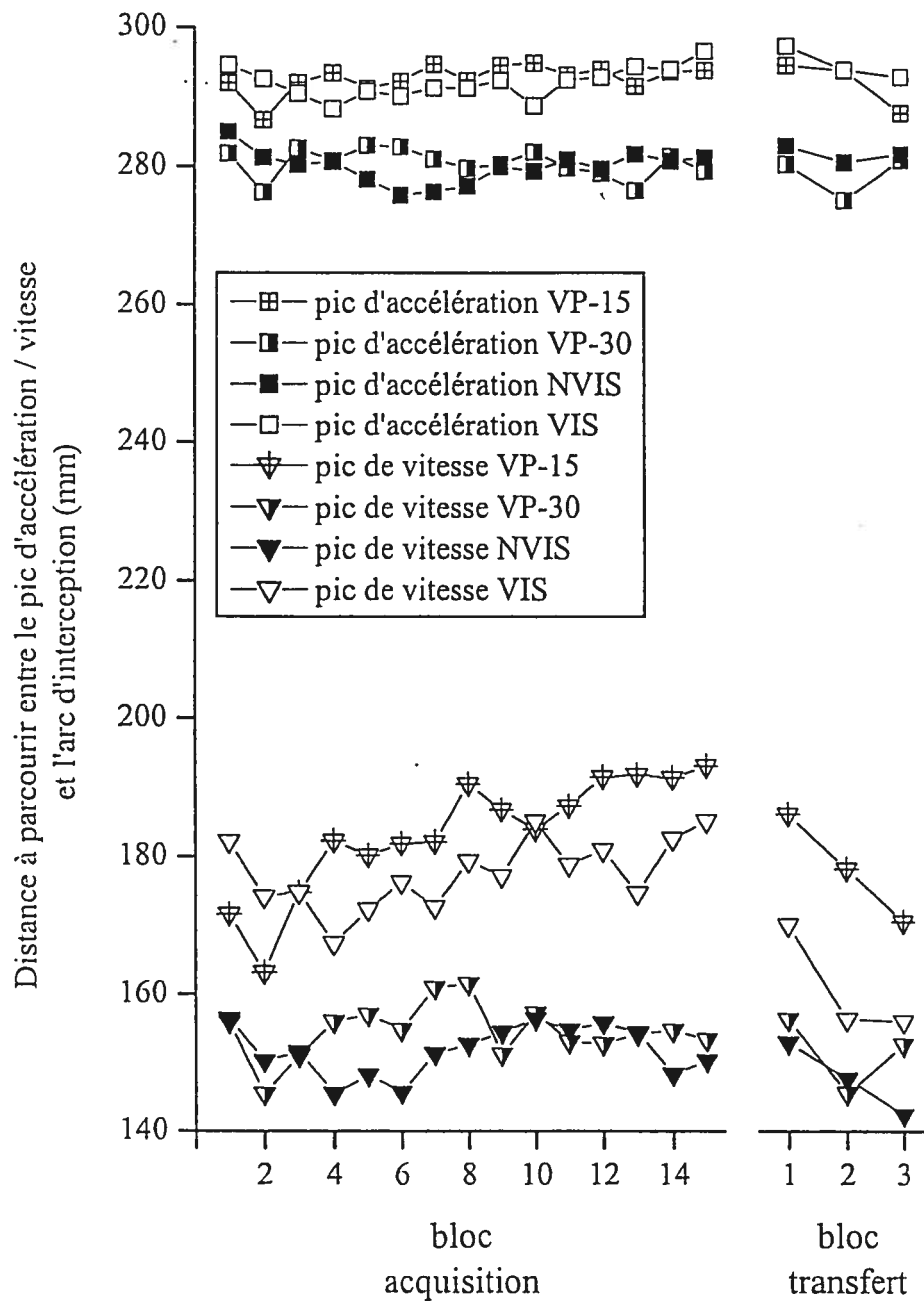


Figure 12

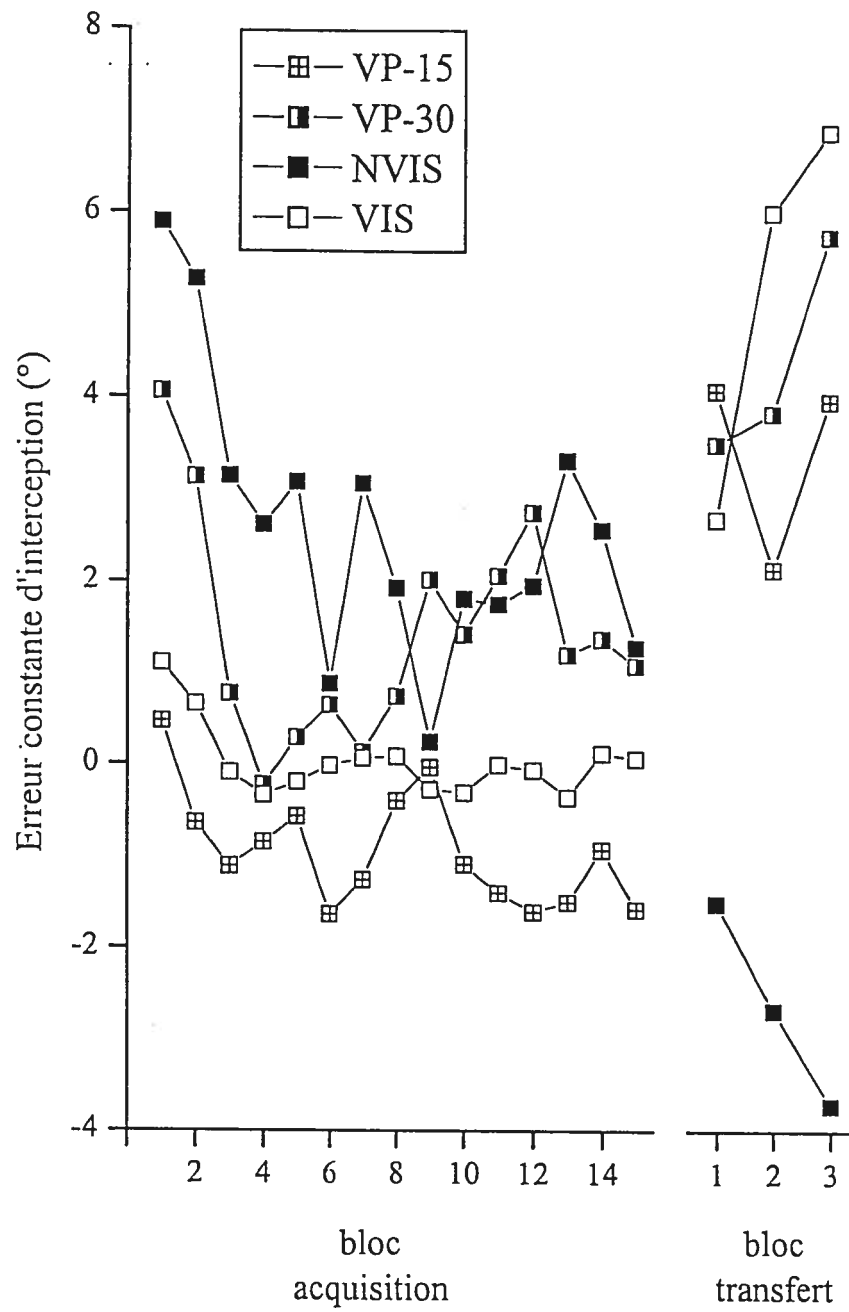


Figure 13

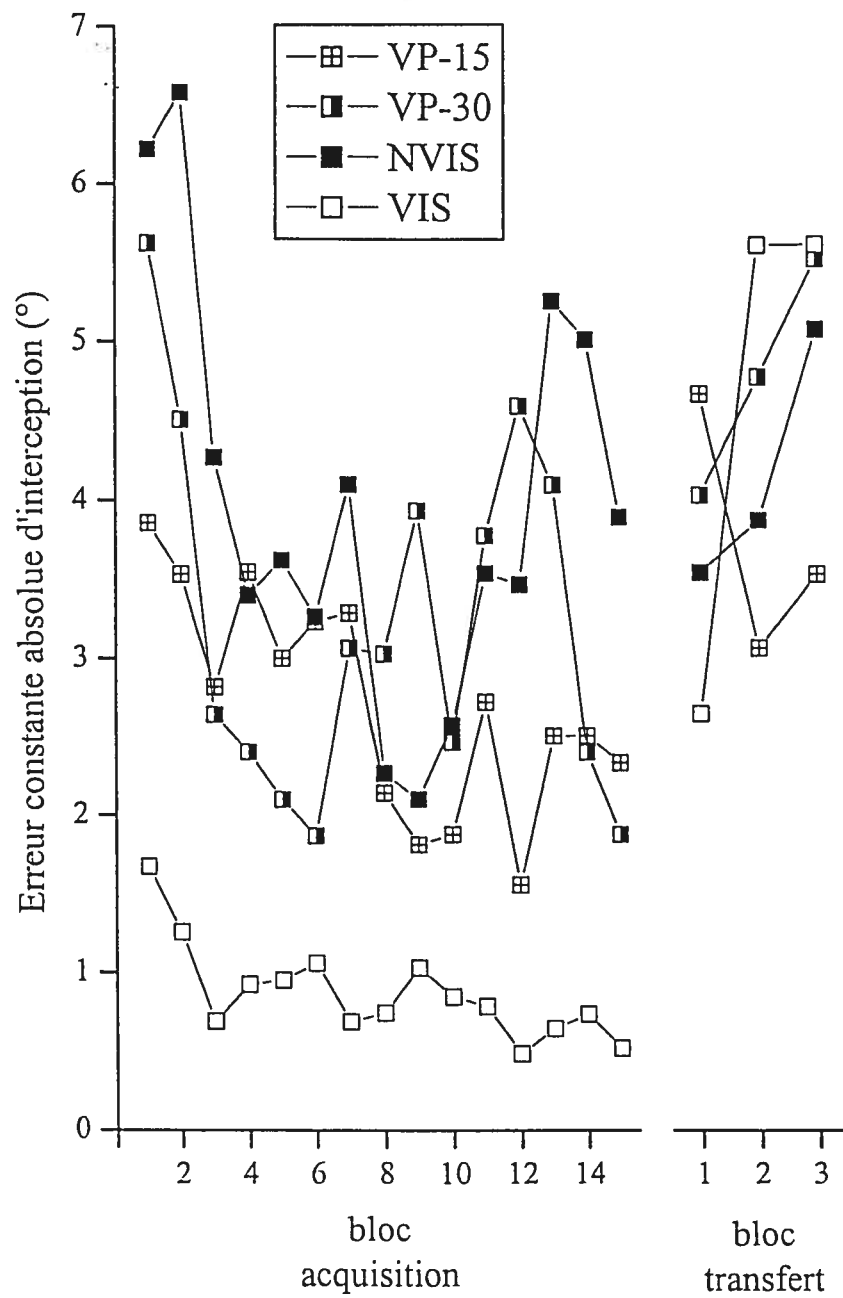


Figure 14

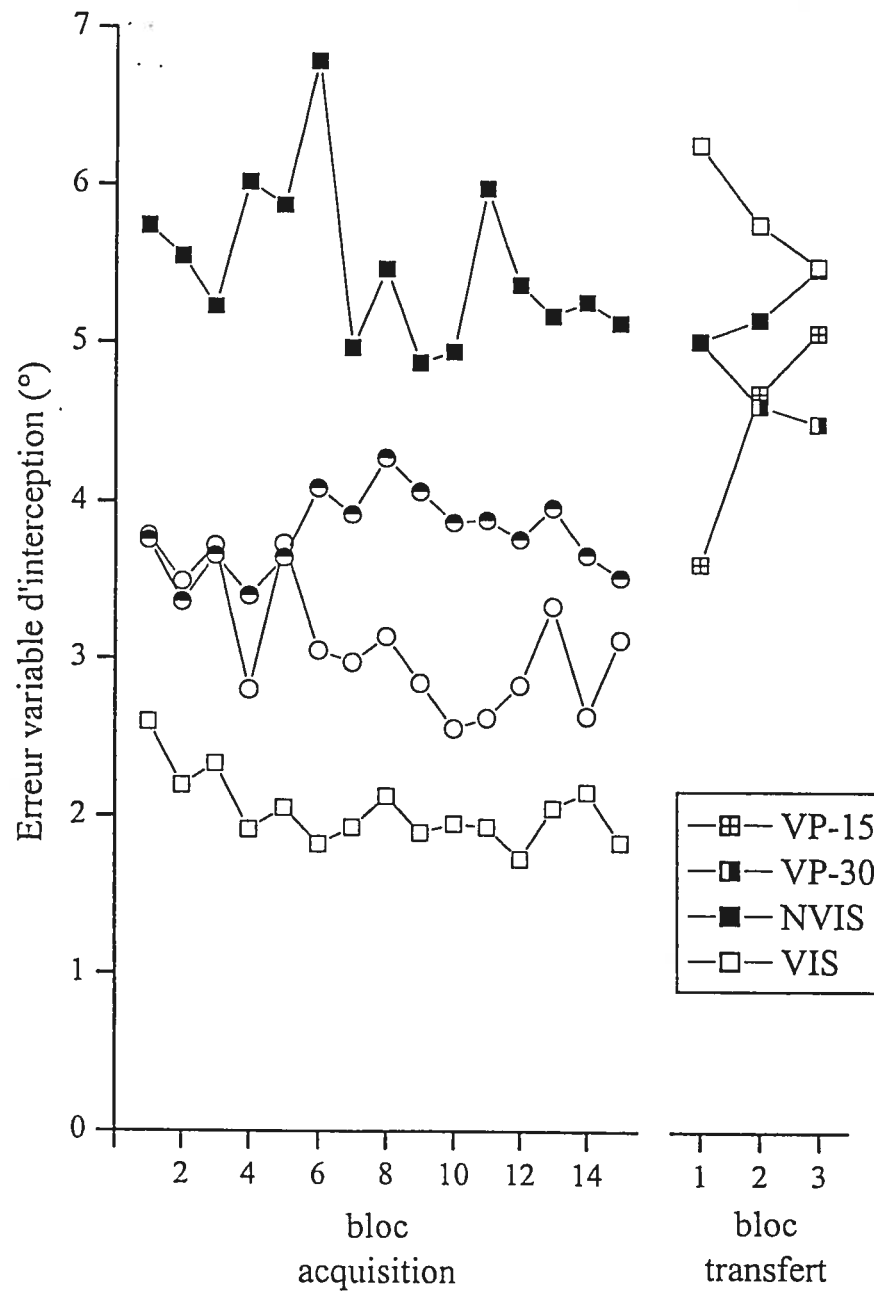


Figure 15

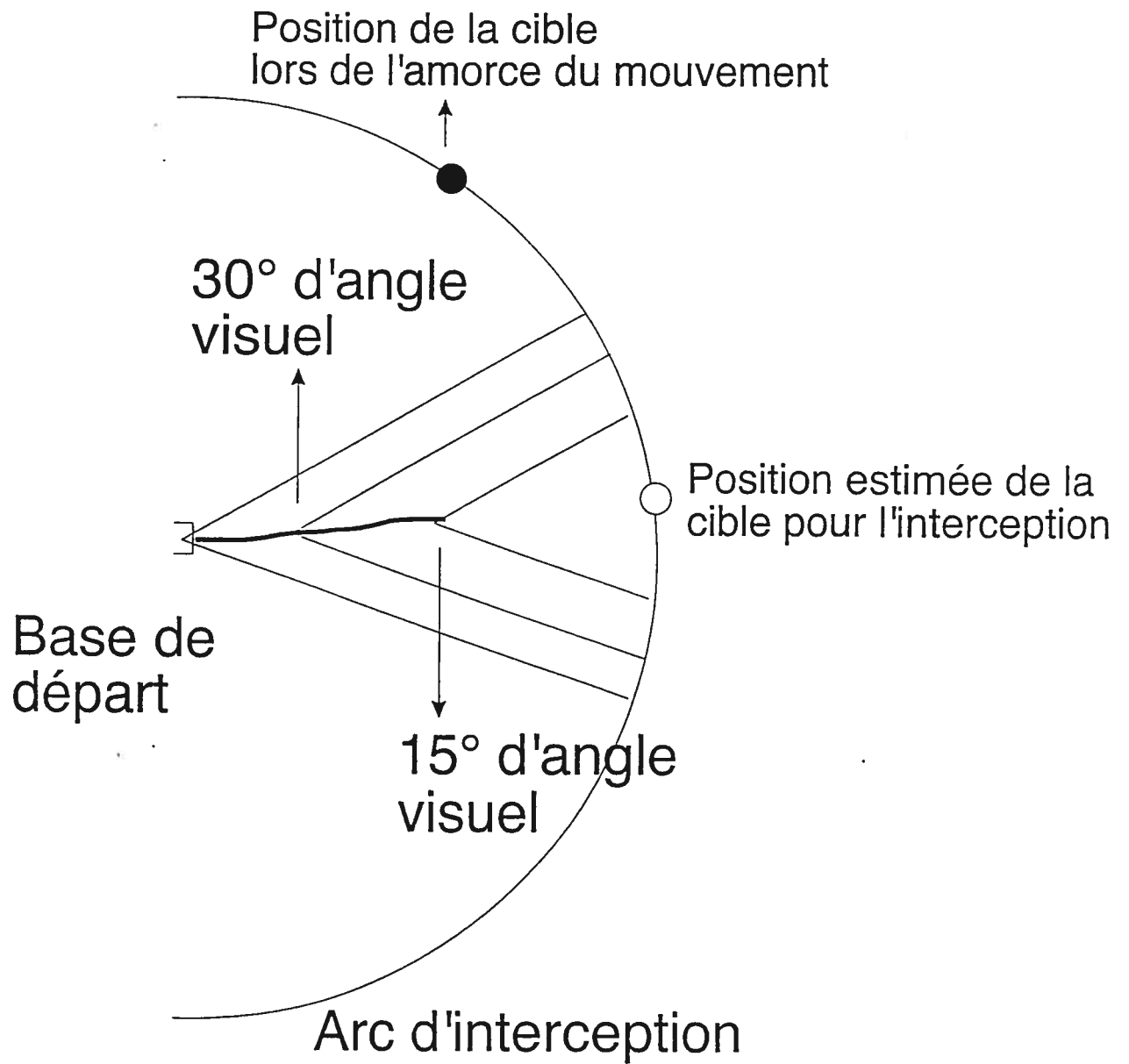


Figure 16

DISCUSSION

L'objectif de cette expérience était de déterminer si les informations visuelles dynamiques disponibles en périphérie de la rétine et concernant le déplacement d'un effecteur permettraient d'assurer la précision spatiale du mouvement dans une tâche d'interception vidéo. Lorsque l'on considère le déroulement temporel du mouvement d'interception, on note que, d'une part, les groupes NVIS et VP-30 ont eu un comportement semblable alors que, d'autre part, les groupes VP-15 et VIS ne se différenciaient pas significativement l'un de l'autre. Qui plus est, quoique les quatre groupes ne se différenciaient pas significativement l'un de l'autre jusqu'à l'atteinte de la pointe de vélocité (qui se produit à environ 30° d'angle visuel de l'arc d'interception), le temps passé entre la pointe de vélocité et l'arc d'interception était beaucoup plus grand pour les groupes VP-15 et VIS que pour les groupes VP-30 et NVIS.

Les observations présentées ci-haut suggèrent que les deux premiers groupes passaient plus de temps à ajuster leur mouvement à la trajectoire de la cible à intercepter que les deux derniers groupes, présumément sur la base de l'information visuelle dynamique disponible entre 30° et 15° d'angle visuel. Si tel avait effectivement été le cas, on aurait dû observer des erreurs d'interception moindres pour le groupe VP-15 que pour les groupes VP-30 et NVIS. Les résultats indiquent plutôt que lors de l'acquisition, le fait de voir le curseur en périphérie de la rétine, et ce jusqu'à 15° d'angle visuel, ne permettait pas aux participants du groupe VP-15 d'avoir une erreur constante absolue d'interception moindre que celle observée pour les groupes VP-30 et NVIS. Cependant, le fait de pouvoir aussi voir le curseur en déplacement jusqu'à l'arc d'interception résultait en une erreur constante absolue

d'interception moindre pour le groupe VIS que pour les trois autres groupes. Cela suggérerait donc que la précision spatiale du mouvement d'interception fût surtout déterminée par la vision du curseur dans la portion finale de ce mouvement.

Néanmoins, il faut noter que l'information visuelle dynamique disponible dans la portion périphérique de la rétine n'était pas totalement sans avantage pour les participants. En effet, les résultats indiquent que les groupes VP-15 et VP-30, quoique démontrant une erreur variable d'interception plus grande que le groupe VIS, étaient néanmoins moins variables spatialement que le groupe NVIS. Ce résultat suggère que la variabilité est fonction de la distance qui sépare la dernière portion vue de la main de l'arc d'interception. En supposant un niveau de bruit neuromoteur équivalent pour les différentes conditions expérimentales, plus la main est vue loin de l'arc d'interception, plus le bruit a une incidence importante lors du croisement de l'arc d'interception, ce qui se traduit par une erreur d'interception plus grande (voir figure 16, p. 68).

Pris dans leur ensemble, ces résultats suggèrent que c'est l'information visuelle dynamique disponible dans la dernière portion du mouvement qui est plus utile pour assurer la précision spatiale d'un geste d'interception. Ces résultats suggèrent aussi que le fait de voir le curseur sur la base de départ (i.e., à 40° d'angle visuel de l'arc d'interception), ou aussi près qu'à 15° d'angle visuel ne change pas la précision d'interception. L'évaluation de la trajectoire à emprunter pour intercepter la cible en déplacement ne semble donc pas s'améliorer avec un rapprochement de l'arc d'interception de la dernière position vue de la cible, du moins lorsque l'écart entre la dernière position vue du curseur et l'arc d'interception sont séparés par au moins 15° d'angle visuel.

Ces positions sont supportées par les résultats obtenus dans la phase de transfert. Concernant le dérours temporel du mouvement, les participants s'en sont largement tenus à la stratégie de mouvement développée pendant la phase d'acquisition. Ainsi, on remarque encore une fois que les participants des groupes VP-15 et VIS passent beaucoup plus de temps entre l'occurrence de la pointe de vitesse et l'arc d'interception que les participants des groupes VP-30 et NVIS.

Le retrait de l'information visuelle et de la connaissance du résultat dans la phase de transfert a engendré une augmentation de l'erreur constante absolue d'interception pour tous les groupes. Ceci indique qu'une source d'information utile à la planification et/ou au contrôle du mouvement a été retirée dans la phase de transfert. De plus, l'augmentation de cette erreur au fur et à mesure d'une augmentation du nombre d'essais réalisés en transfert pour tous les groupes suggère que l'information retirée n'ait pas été utilisée pour développer une représentation durable de la tâche. La nature de cette information ne semble pas avoir été la même pour le groupe NVIS que pour les trois autres groupes. Pour le groupe NVIS qui montrait surtout un biais positif lors de la phase d'acquisition, le retrait de la connaissance du résultat a engendré un biais de plus en plus négatif. Ceci suggère que les participants de ce groupe compensaient lors du transfert par rapport à la connaissance visuelle du résultat qu'ils avaient reçue lors de l'acquisition. Pour les groupes VP-30, VP-15 et VIS, on remarque plutôt un biais qui devient de plus en plus positif lors du transfert. Or les participants du groupe VIS n'avaient démontré aucun biais particulier lors de la phase d'acquisition alors que les participants des deux autres groupes montraient un léger biais positif. Cette différence entre les groupes VP-30, VP-15 et VIS par rapport au groupe NVIS suggère que ce soit le retrait de l'information visuelle dynamique qui a

engendré l'augmentation du biais d'interception pour les trois premiers groupes, lors du transfert, plutôt que le simple retrait de la connaissance du résultat. En retour, ceci suggère que l'information visuelle dynamique disponible pour les groupes VP-30 et VP-15 ne donnait pas davantage d'information que la connaissance du résultat pour le groupe NVIS mais que la nature de cette information différait de celle que procurait la connaissance du résultat. Les données de cette expérience ne permettent cependant pas de mieux cerner la nature de cette information.

L'erreur variable d'interception dans la phase de transfert supporte notre interprétation des résultats obtenus pour cette variable dépendante lors de la phase d'acquisition. En effet, l'augmentation de l'erreur variable notée lors de la phase de transfert pour les groupes VP-30, VP-15 et VIS au niveau de celle trouvée pour le groupe NVIS supporte notre hypothèse qui suggère que la variabilité finale du mouvement est fonction de la distance qui sépare le dernier endroit auquel le curseur était visible de l'arc d'interception. Lors du transfert cette distance était la même pour les quatre groupes et, donc, il en était de même pour l'erreur variable.

En définitive, le changement d'orientation des mouvements d'interception retrouvée dans la première expérience pour le groupe VIS entre la pointe d'accélération et le pic de vitesse ne semble pas témoigner d'une évaluation et d'une correction de la trajectoire du curseur sur la base de l'information visuelle dynamique disponible entre 40° et 30° d'angle visuel. Il faut se souvenir que ce réalignement du mouvement n'était pas significatif. De plus, les résultats de la présente expérience ne donnent aucune évidence qu'un tel réalignement ait pris place, et ce, peu importe la condition expérimentale considérée.

La conclusion proposée au paragraphe qui précède diffère de ce qui a été proposé pour une tâche d'atteinte manuelle. Dans ce dernier cas, une condition semblable à la condition VP-15 de la présente expérience résulte généralement en des erreurs constante et variable semblables à celles notées pour une condition de VIS et moindre que celles notées pour une condition NVIS (Abahnini et Proteau, 1999; Abahnini, Proteau et Temprado, 1997; Bédard et Proteau, sous-presse; Proteau et al., 2000). La différence de résultats entre ces deux tâches est probablement due au fait que dans une tâche d'interception les participants doivent estimer la position future de la cible sur l'arc d'interception alors que tel n'est pas le cas lors d'un pointage. La vision du curseur à 15° d'angle visuel dans une tâche de pointage permet probablement aux participants de juger de l'à-propos de leur geste et éventuellement de le corriger en cours de mouvement, du moins pour des temps de mouvements aussi longs que ceux observés dans la présente expérience (Bédard et Proteau, sous-presse). Cela serait beaucoup plus difficile, voire impossible, lorsque la position de la future cible doit être estimée comme dans une tâche d'interception. Cette proposition suggère qu'une correction efficace au mouvement ne peut prendre place que si l'effecteur et la cible sont visibles simultanément ou alors que la position de la cible est directement disponible en mémoire, mais pas lorsque la position de la cible doit être estimée.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSIONS

Les résultats de nombreux travaux récents indiquent que, lors d'une tâche de pointage manuel, l'apprentissage est spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de l'acquisition. Ainsi, voir le membre effecteur demeurerait aussi important pour assurer la précision spatiale du geste après une très longue phase d'acquisition que tôt dans la pratique. Des résultats semblables ont aussi été obtenus pour une tâche de locomotion et pour une tâche de positionnement global du corps (Proteau, Tremblay, et DeJaeger, 1998; Tremblay et Proteau, 1998). De fait, seuls les résultats de tâches d'interception manuelle indiquaient que les participants ne développaient pas de dépendance relative à la vision de la main d'interception lorsque celle-ci avait été présente lors de l'acquisition.

Tremblay et Proteau (2001) ont proposé que l'exception à laquelle il était fait mention au paragraphe précédent était due au fait que, dans les différentes études d'interception manuelle les participants bénéficiaient de la connaissance du résultat dans la situation de transfert. Ceci permettait d'expliquer l'impact relativement faible du retrait de la vision de la main lors du transfert. Proteau et Gullaud (en préparation) arrivaient à la même conclusion et leurs résultats suggéraient que la connaissance du résultat en situation de transfert pouvait prendre une forme relativement subtile. Plus spécifiquement, ils proposaient que les participants pouvaient connaître la position de leur main par rapport à la position de la balle par un effet de masquage de la trajectoire de la balle. Ainsi, lorsque la vision de la balle était obstruée parce que la main des participants était placée entre leurs yeux et la trajectoire de la balle, ces derniers pouvaient facilement déduire la position de leur main par rapport à eux-même et aussi par rapport à la trajectoire de la balle.

L'objectif principal du présent mémoire était de déterminer si l'hypothèse de la spécificité de la pratique serait supportée pour une tâche d'interception manuelle pour laquelle toute forme de connaissance du résultat serait supprimée lors de la phase de transfert. Les résultats de la première expérience sont clairs et supportent l'hypothèse selon laquelle le phénomène de masquage serait à la base de la discordance entre les études de pointage et celles d'interception manuelle. Les résultats indiquent que la précision d'interception des participants du groupe VIS souffre du retrait de la vision du curseur lors de la phase de transfert. De plus, une augmentation de l'erreur a été notée pour le groupe NVIS ce qui indique que le retrait de la connaissance du résultat a causé une diminution de la performance. Ceci suggère que la présence de connaissance du résultat dans les études de Whiting (Whiting et al., 1992, 1995) et, possiblement par masquage dans celle de Tremblay et Proteau (2001) pour des conditions semblables à notre condition NVIS, peut expliquer les faibles baisses de performance notées lors du retrait de la vision de la main.

À première vue, les résultats de la seconde expérience de ce mémoire sont moins clairs que ceux de la première expérience. En effet, les différences d'erreur constante et d'erreur variable retrouvées entre les groupes VIS et NVIS lors de la phase de transfert ne sont pas aussi marquées que lors de la première expérience. Étant donné la grande similitude entre les conditions VIS et NVIS de la première et de la seconde expérience, il est surprenant d'obtenir des résultats différents. Dans la deuxième expérience, le non support de l'hypothèse de la spécificité de la pratique est largement dû à l'augmentation limitée de l'erreur notée lors du passage de l'acquisition au transfert pour le groupe VIS. Cependant, l'hypothèse de la spécificité

de la pratique serait supportée s'il était démontré que l'augmentation de l'erreur pour le groupe VIS était significativement plus élevée que pour le groupe NVIS.

Afin d'évaluer cette possibilité, nous avons en premier lieu représenté la performance des participants par un seul indice, soit l'erreur quadratique moyenne [$EQM = (EC^2 + EV^2)^{1/2}$]. Ensuite, nous avons calculé un indice de détérioration de la performance (IDP; Proteau et Cournoyer, 1990) lors du passage de l'acquisition au transfert [$IDP = ((EQM_{acquisition} - EQM_{transfert}) / EQM_{acquisition})$].

Les résultats de cette analyse indiquent que le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert n'a pas modifié significativement l'indice de détérioration de la performance des groupes VP-15 et VP-30 par rapport à celui du groupe NVIS (1.18, 0.45, et 0.17, respectivement). Qui plus est, pour ces trois groupes l'indice de détérioration de la performance ne se modifiait pas significativement d'un bloc de transfert à l'autre. Cependant, pour le groupe VIS, on note une augmentation significative de l'indice de détérioration de la performance lors du passage du premier aux deux autres blocs de transfert (0.27, 3.12, et 4.23, respectivement). Il en résulte un indice de la détérioration de la performance significativement plus grand pour le groupe VIS que celui des trois autres groupes, qui ne se démarquent pas significativement l'un de l'autre pour les deux derniers blocs de transfert, $F(6, 70) = 3.50$. Une analyse semblable réalisée sur les données de la première expérience indiquait un indice de détérioration de la performance significativement plus élevé pour le groupe VIS que pour le groupe NVIS (5.63 et 0.88, respectivement), $F(1,22) = 33.4$. Les résultats des deux expériences de ce mémoire supportent donc l'hypothèse de la spécificité de la pratique.

Un second objectif du mémoire était de déterminer si les informations visuelles dynamiques disponibles en périphérie de la rétine et concernant le déplacement d'un effecteur en mouvement permettaient d'assurer la précision spatiale du mouvement dans une tâche d'interception vidéo. Les résultats indiquent que le fait de voir sa main en périphérie de la rétine (jusqu'à 15° d'angle visuel) apporte assez peu à la précision spatiale du geste d'interception. En effet, obstruer la vision de la main dans de telles régions (dans le cas présent : entre 40° et 15° d'angle visuel) n'a pas changé grand chose à la performance des participants alors qu'obstruer la vision du curseur plus près du point d'interception a été plus dommageable. Il est possible que la poursuite visuelle de la cible fournisse suffisamment d'information au système nerveux central pour guider grossièrement la main dans la bonne direction, par exemple, en se basant sur une copie des éfférences de la commande oculaire. Cependant, des ajustements fins nécessaires à l'interception de la cible pourraient ne prendre place que lorsque la cible et la main sont vues simultanément en vision centrale.

En dernier lieu, il faut noter que l'information visuelle dynamique disponible dans la périphérie de la rétine n'était pas totalement sans avantage. Les groupes VP-15 et VP-30, bien qu'ils aient été plus variables que le groupe VIS, restaient néanmoins spatialement moins variables que le groupe NVIS. Ceci suggère que la variabilité d'un mouvement d'interception serait fonction de la distance qui sépare la dernière position vue de la main de l'arc d'interception. Si on supposait un niveau de bruit neuromoteur équivalent pour les différentes conditions expérimentales, il en résulterait que plus la main est vue en grande périphérie plus le bruit aurait une incidence lors du croisement de l'arc d'interception. Le tout résulterait en une erreur d'interception plus grande, tel qu'illustré à la figure 16 (p. 68). Cette proposition souligne l'importance des

informations afférentes visuelles pour la localisation précise d'un effecteur en déplacement.

BIBLIOGRAPHIE

Abahnini, K., & Proteau, L. (1999). The role of peripheral and central visual information for the directional control of manual aiming movement. Canadian Journal of Experimental Psychology, 53, 160-174.

Abahnini, K., Proteau, L., & Temprado, J.J. (1997). Evidence supporting the importance of peripheral visual information for the directional control of aiming movement. Journal of Motor Behavior, 29, 230-242.

Bard, C., Hay, L., & Fleury, M. (1985). Role of peripheral vision in the directional control of rapid aiming movements. Canadian Journal of Psychology, 39, 151-161.

Bard, C., Paillard, J., Fleury, M., Hay, L., & Larue, J. (1990). Positional versus directional control loops in visuomotor pointing. European Bulletin of Cognitive Psychology, 10, 145-156.

Bédard, P., & Proteau, L. (2001). On the role of static and dynamic visual afferent information in goal-directed aiming movements. Experimental Brain Research, 138, 419-431.

Bédard, P., & Proteau, L. (sous-presse). On the role of peripheral visual afferent information for the control of rapid video-aiming movements. Acta Psychologica.

Blouin, J., Bard, C., Teasdale, N., & Fleury, M. (1993). On-line versus off-line control of rapid aiming movements. Journal of Motor Behavior, 25, 275-279.

Carlton, L.G. (1992). Visual processing time and the control of movement. Dans L. Proteau et D. Elliott (Eds.), Vision and motor control. Amsterdam : North-Holland

Desmurget, M., Rossetti, Y., Jordan, M., Meckler, C., & Prablanc, C. (1997 b). Viewing the hand prior to movement improves accuracy of pointing performed toward the unseen contralateral hand. Experimental Brain Research, 115, 180-186.

Desmurget, M., Rossetti, Y., Prablanc, C., Stelmach, G.E., & Jeannerod, M. (1995). Representation of hand position prior to movement and motor variability. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 73, 262-272.

Diggles, D.A., Grabiner, M.D., & Garhammer, J. (1987). Skill level and efficacy of effector visual feedback in ball catching. Perceptual and Motor Skills, 64, 987-993.

Elliott, D., Binsted, G., & Heath, M. (1999). The control of goal-directed movements : Correcting errors in the trajectory. Human Movement Science, 18, 121-136.

Fischman, M.G., & Schneider, T. (1985). Skill level, vision, and proprioception in simple one-hand catching. Journal of Motor Behavior, 17, 219-229.

Greenhouse, S.W., & Geisser, S. (1959). On the methods in the analysis of profile data. Psychometrika, 24, 95-112.

Khan, M. A., Franks, I.M., & Goodman, D. (1998). The effect of practice on the control of rapid aiming movements : Evidence for an interdependency between programming and feedback processing. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51A, 425-444.

Krakauer, J.W., Pine, Z.M., Ghilardi, M.F., & Ghez, C. (2000). Learning of visuomotor transformations for vectorial planning of reaching trajectories. Journal of Neuroscience, 20 (23), 8916-8924.

Lhuisset, L., & Proteau, L. (sous-presse). Movement planning and control of straight ahead and angled planar movements in adults and young children. Journal of Motor Behavior.

Lhuisset, L., & Proteau, L. (sous-presse). Visual control of aiming movements in 6 to 10 year-old children and adult. Canadian Journal of Experimental Psychology.

Lhuisset, L., & Proteau, L. (2002). Developmental aspects of the control of manual aiming movements in aligned and non-aligned visual displays. Experimental Brain Research, 146, 293-306.

Lyons, J., Fontaine, R., & Elliott, D. (1997). I lost it in the light : the effects of predictable and variable intermittent vision on unimanual catching. Journal of Motor Behavior, 29, 113-118.

Messier, J., & Kalaska, J.F. (1999). Comparison of initial kinematics and endpoints of reaching movements. Experimental Brain Research, 125, 139-152.

Olivier, I., Weeks, D.J., Lyons, J., Ricker, K.L., & Elliott, D. (1998). Monocular and binocular vision in one-hand catching : interocular integration. Journal of Motor Behavior, 30, 343-351.

Prablanc, C., Echallier, J.F., Jeannerod, M., & Komilis, E., (1979b). Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target. II. Static and dynamic visual cues in the control of hand movement. Biological Cybernetics, 35, 183-187.

Prablanc, C., Echallier, J.F., Komilis, E., & Jeannerod, M. (1979a). Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target. I. Spatio-temporal characteristics of eye and hand movements and their relationships when varying the amount of visual information. Biological Cybernetics, 35, 113-124.

Proteau, L. (1995). Sensory integration in the learning of an aiming task. Canadian Journal of Experimental Psychology, 49, 113-120.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. In L. Proteau and D. Elliott (Eds.), *Vision and motor control*, (pp.67-103). Amsterdam : North Holland.

Proteau, L., Boivin, K., Linossier, S., & Abahnini, K. (2000). Exploring the limits of peripheral vision for the control of movement. Journal of Motor Behavior , 32, 277-286.

Proteau, L., & Carnahan, H. (2001). What causes the specificity of practice in a manual aiming movement : Vision dominance or transformation errors ? Journal of Motor Behavior, 33, 226-234.

Proteau, L., & Cournoyer, J. (1990). Vision of the stylus in a manual aiming task : the effects of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 42B (3), 811-828.

Proteau, L., & Gullaud, É. (en préparation). Tâche d'interception manuelle et trajectoires : Spécificité de l'apprentissage et préférence du plan sagittal médian.

Proteau, L., & Isabelle, G. (2002). On the role of visual afferent information for the control of aiming movements towards targets of different sizes. Journal of Motor Behavior, 34, 367-384.

Proteau, L., Marteniuk, R.G., Girouard, Y., & Dugas, C. (1987). On the type of information used to control and learn an aiming movement after moderate and extensive training. Human Movement Science, 6, 181-199.

Proteau, L., & Marteniuk, R.G. (1993). Static visual information and the learning and control of a manual aiming task. Human Movement Science, 12, 515-536.

Proteau, L., Marteniuk, R.G., & Lévesque, L. (1992). A sensorimotor basis for motor learning : evidence indicating specificity of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 44A, 557-575.

Proteau, L., Tremblay, L., & DeJaeger, D. (1998). Practice does not diminish the role of visual information in on-line control of a precision walking task : support for the specificity of practice hypothesis. Journal of Motor Behavior, 30, 143-150.

Rossetti, Y., Stelmach, G.E., Desmurget, M., Prablanc, C., & Jeannerod, M. (1994). The effect of viewing static hand prior to movement onset on pointing kinematics and accuracy. Experimental Brain Research, 101, 323-330.

Savelsbergh, G.J.P., & Whiting, H.T.A. (1988). The effect of skill level, external frame of reference and environmental changes on one-hand catching. Ergonomics, 31, 1655-1663.

Schmidt, R.A. (1988). Motor control and learning (2nd edition). Champaign, IL: Human Kinetics.

Sharp, R.H., & Whiting, H.T.A. (1975). Information-processing and eye movement behavior in ball-catching skill. Journal of Human Movement Studies, 1, 124-131.

Smyth, M.M., & Murray, A.M. (1982). Vision and proprioception in simple catching. Journal of Motor Behavior, 14, 143-152.

Soucy, M.C., & Proteau, L. (2001). Development of multiple movement representations with practice : Specificity versus flexibility. Journal of Motor Behavior, 33, 243-254.

Tremblay, L., & Proteau, L. (2001). Specificity of practice in a ball interception task. Canadian Journal of Experimental Psychology, 55, 207-218.

Tremblay, L., & Proteau, L. (1998). Specificity of learning: The case of powerlifting, Research Quarterly for Exercise and Sport, 69, 284-289.

Vindras, P., Desmurget, M., Prablanc, C., & Viviani, P. (1998). Pointing errors reflect biases in the perception of the initial hand positioning. Journal of Neurophysiology, 79, 3290-3294.

Whiting, H.T.A., Gill, E.B., & Stephenson, J.M. (1970). Critical time intervals for taking in flight information in a ball-catching task. Ergonomics, 13, 265-272.

Whiting, H.T.A., & Savelsbergh, G.J.P. (1992). An exception that proves the rule ! In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorial in motor behavior 2*, (pp. 583-597). Amsterdam : North Holland.

Whiting, H.T.A., Savelsbergh, G.J.P., & Pijpers, J.R. (1995). Specificity of motor learning does not deny flexibility. Applied Psychology : An international Review, 44, 315-332.

Whiting, H.T.A., & Sharp, R.H. (1974). Exposure and occluded duration effects in ball-catching skill. Journal of Motor Behavior, 6, 139-147.

Winer, B.J. (1971). *Statistical principles in experimental design*, 2nd edition, McGraw-Hill, New-York.

